

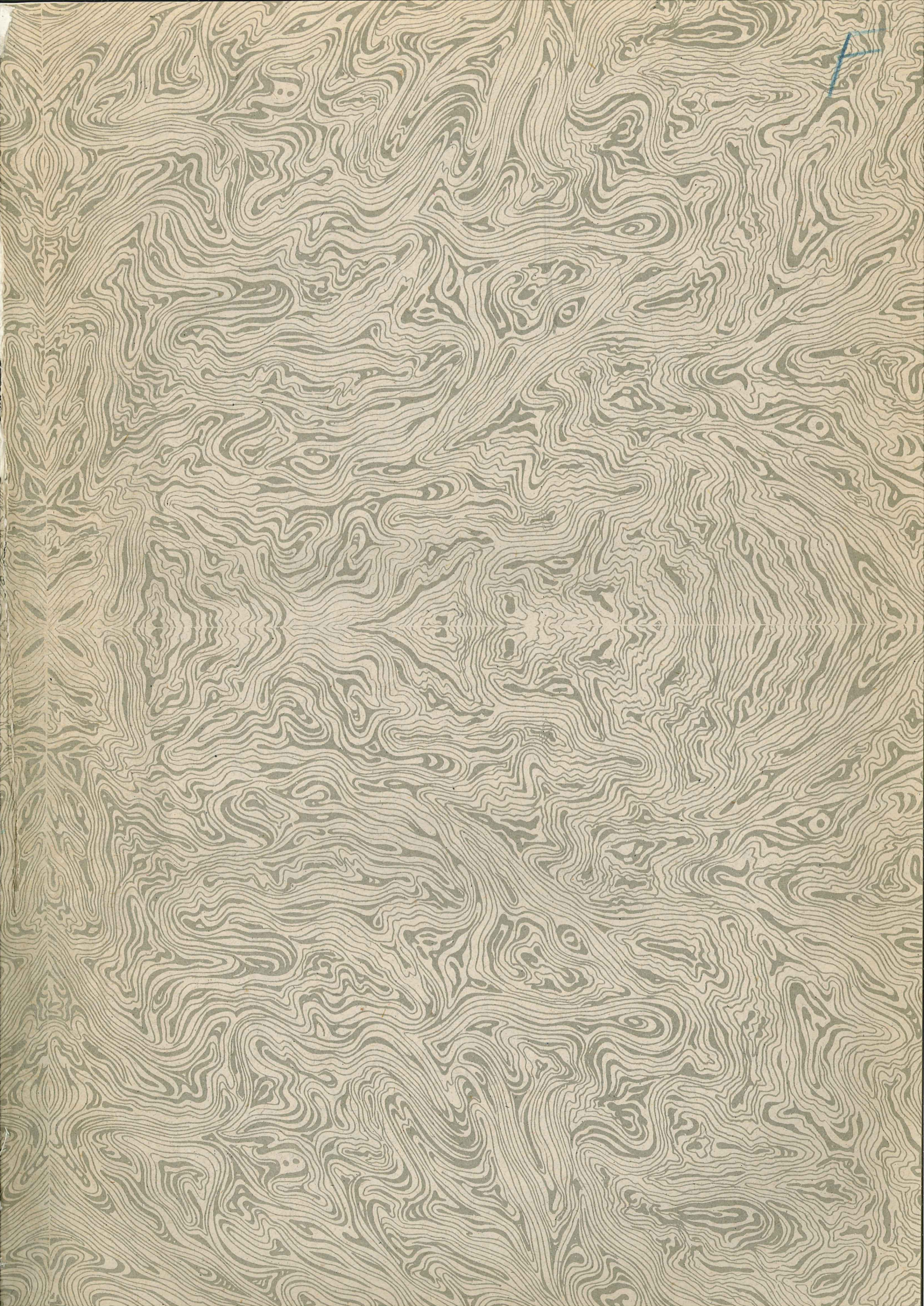
ESTUDIO

ANATOMICO . FUNCIONAL

DEL PIE

Juan A. Rivas Quesada

1.970-71



T/470

ESTUDIO ANATOMICO-FUNCIONAL DEL PIE



Alumno: Rivas Quesada, Juan. A.

Director: Dr. Anitua Solano, Manuel

Curso académico: 1970-71

DILIGENCIA para hacer constar que este trabajo de
investigación de fin de carrera obtuvo
la aprobación del correspondiente Tri-
bunal el día 4 de noviembre de 1971



Reg. 16-621

SUMARIO:

1.- INTRODUCCION

2.- ESTADO ACTUAL DEL PROBLEMA

- a.- Descripción anatómica de los elementos óseos, musculares, ligamentosos y articulares del pie.
- b.- Breve estudio de sus movimientos y ángulos de movilidad.
- c.- El pie como elemento anatómico-funcional más específicamente humano. Su evolución, su estructura, sus funciones.
- d.- Estática y dinámica del pie.
- e.- Descripción de la bóveda plantar.
- f.- Funcionamiento de la bóveda plantar en la estática, en la marcha, en la carrera, en el salto.

3.- CONSIDERACIONES GENERALES

4.- CONCLUSIONES

5.- BIBLIOGRAFIA

I N T R O D U C C I O N

I.- INTRODUCCION

El estudio del pie, de su funcionamiento, de su estructuración, de sus arcos, de todo aquello que lo hace tan maravillosamente funcional, ha sido para mí una constante atracción desde que empecé los estudios en este Instituto.

Mis conocimientos de anatomía adquiridos en los primeros años de carrera, el gusto personal hacia esta materia penetrante y casi agresiva, la importancia que tiene en la formación del profesor de Educación Física, el conocimiento de la funcionalidad de las diferentes partes del cuerpo humano, la importancia que en sí mismo tiene el pie, no ya en los deportes y actividades físicas, sino en el desenvolvimiento de la vida cotidiana ... son motivos suficientes que me llevan a ahondar un poco más en este tema y realizar así este trabajo fin de carrera.

No pretendo con él realizar un estudio exhaustivo y profundo del tema, y mi intención queda muy lejos de ello. Simplemente quiero iniciar esta búsqueda de conocimientos. Será un comienzo de investigación personal que me sirva como complemento en la culminación de mis estudios como alumno de este Instituto, y a su vez base de partida para otros estudios posteriores como ex alumno y futuro profesor de Educación Física.

El tema no es nuevo ni mucho menos. Hay muchos estudios realizados y numerosos científicos, médicos y anatomistas han dedicado muchas horas a esclarecer problemas y descubrir nuevos conocimientos. Sin embargo estos trabajos están realizados, la mayor parte, desde un punto de vista médico, y con miras a una aplicación posterior en la patología del pie. Todos, o casi todos, se llevan a cabo en investigaciones hechas con cadáveres con todo tipo de radiografías o con electromiógrafos, en fin con una serie

de medios que por supuesto no tengo a mi alcance, ni material ni intelectualmente.

No puedo, entonces, pretender hacer algo nuevo, no puedo llegar más allá de donde, hasta ahora, se ha llegado. He de limitarme a lo que hay escrito. Mi labor no será otra que la de "resumir" o "aglomerar" lo que otros me dan, ordenarlo al nivel de mis conocimientos y explicarlo desde un punto de vista particular, y no médico. Trataré siempre de un pie sano, de un pie en vida, en ejercicio, en movimiento. (Los médicos trabajan con enfermos, nosotros, sin embargo, tratamos con personas más o menos sanas, aunque a veces podamos también mejorar su salud). No intento hacer ningún estudio de pies patológicos o simplemente con defectos (pie plano, cavus, equino, etc.), pues creo que es tema por sí solo de otra tesina. También podría orientarme hacia los defectos en los escolares, en nuestro medio de trabajo, en cómo tratarlos el profesor de Educación Física, en fin, en multitud de temas que fueran de una aplicación más inmediata para nuestra labor. Todos serían temas adecuados en el estudio del pie, pero por ahora quedan dentro de ese futuro al que antes aludía.

Será pues, un estudio anatómico-funcional basado en conocimientos anatómicos, en consultas o libros, trabajos realizados. Una vez terminado expondré unas conclusiones y lo que yo he sacado en limpio, lo que he ganado y las ventajas que creo haber adquirido:

ESTADO ACTUAL DEL PROBLEMA

2.- a) Descripción anatómica del pie

Para la descripción del mismo empezaré por los elementos óseos desde el más proximal al más distal.

Considero dentro de esta descripción los extremos distales de la tibia y peroné para una mejor comprensión posterior de la articulación del tobillo.

Extremidad distal de la tibia.- La tibia en su extremidad distal se ensancha y toma forma prismática cuadrangular o cuboide. Distinguiremos entonces seis caras. La superior no podemos considerarla como cara ya que es la unión con el resto del hueso. La cara inferior es algo cóncava y tiene forma cuadrada aunque más ancha por fuera que por dentro. (Trapezoidal). Tiene una cresta anteroposterior que la divide en dos porciones laterales.

La cara anterior es lisa y convexa. La cara interna se presenta con un engrosamiento hacia abajo formando el maléolo tibial (malbeolus tibial). Este maléolo tiene una cara externa revestida de cartílago, por la que se articula con el astrágalo (cara interna), mientras que su cara interna está revestida de la piel siendo lisa y convexa. Tiene además un vértice dirigido hacia abajo dividido en dos eminencias desiguales por una escotadura, que prestan inserción al ligamento lateral interno de la articulación de la garganta del pie. El borde posterior del maléolo presenta un canal oblicuo hacia abajo y adentro por el que pasan los tendones del tibial posterior y de flexor común de los dedos, formando parte de la cara posterior de la tibia.

La cara externa tiene una excavación para articularse con la extremidad inferior del peroné. Esta excavación está formada por dos prominencias una anterior y otra posterior (ésta menos desarrollada) que dan inserción a los ligamentos peroneo-tibiales inferiores.

Extremidad distal del peroné.- Está formado por una eminencia voluminosa y robusta. Esta eminencia es el maléolo externo. Llega más hacia abajo que el maléolo tibial. Por su forma piramidal triangular invertida distinguiremos tres caras.

La interna o tibial está revestida de cartílago para articularse con la tibia. La cara anteroexterna es lisa y convexa y está revestida por la piel y la posteroexterna presenta un canal destinado a las tendones de los músculos peroneos y una fosa para la inserción del ligamento peroneo astragalino posterior. En el borde anterior (formado por la cara interna y la anteroexterna) también se inserta otro tendón, el peroneo astragalino anterior.

El vértice que nos queda, el externo (formado por las caras antero y postero externas) forma el labio del canal de los peroneos.

La base de la pirámide es la continuación del hueso y el vértice está dividido como el maléolo tibial, en dos eminencias para la inserción del ligamento peroneo calcáneo.

El astrágalo.- Hueso que recuerda bastante bien a un caracol saliendo de su concha. Es un hueso corto, que ocupa la parte más proximal del tarso. En él se pueden distinguir tres partes principales: 1º) El cuerpo que está formado por las tres cuartas partes o las cuatro quintas partes posteriores del hueso. 2) La cabeza, ocupando la parte anterior. 3º) El cuello, que es la parte intermedia, más o menos estrecha que une las dos primeras

Extremidad distal del peroné.— Está formado por una eminencia voluminosa y robusta. Esta eminencia es el maléolo externo. Llega más hacia abajo que el maléolo tibial. Por su forma piramidal triangular invertida distinguiremos tres caras.

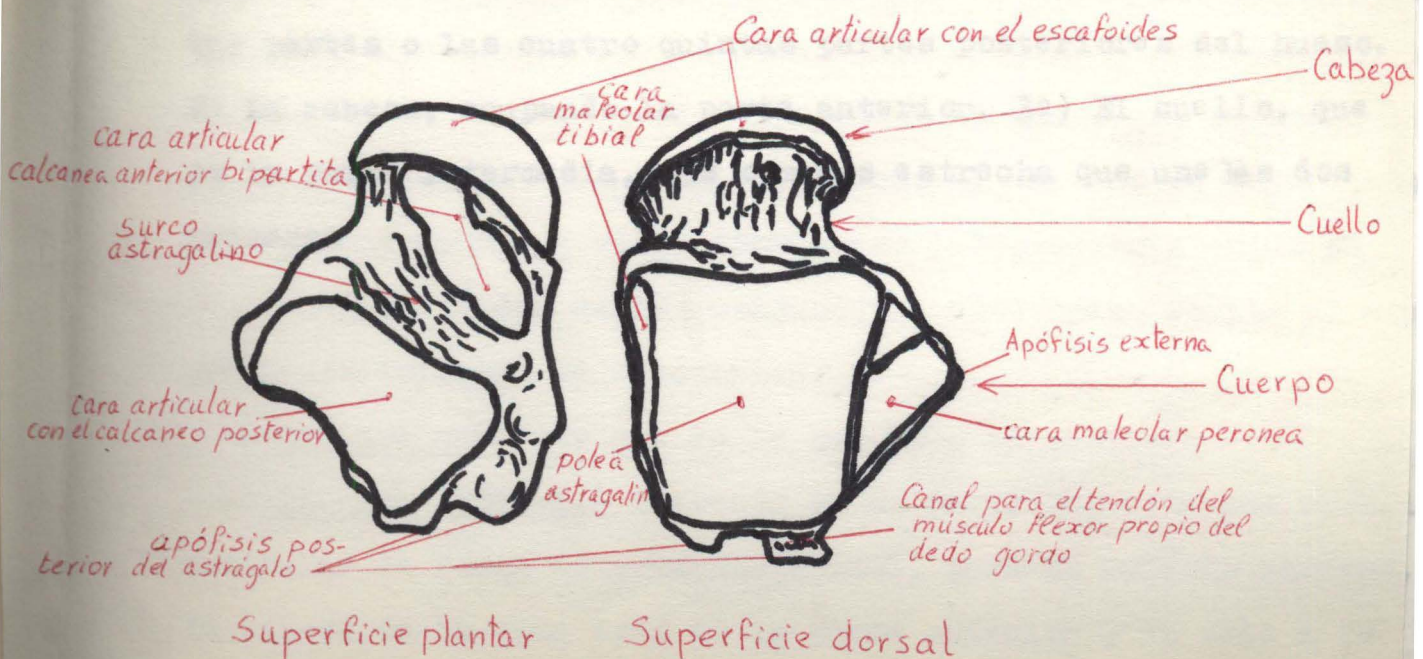
La interna o tibial está revestida de cartílago para articularse con la tibia. La cara anteroexterna es lisa y convexa y está revestida por la piel y la posteroexterna presenta un canal destinado a las tendones de los músculos peroneos y una fosa para la inserción del ligamento peroneo astragalino posterior. En el borde anterior (formado por la cara interna y la anteroexterna) también se inserta otro tendón, el peroneo astragalino anterior.

El vértice que nos queda, el externo (formado por las caras antero y postero externas) forma el labio del canal de los peroneos.

La base de la pirámide es la continuación del hueso y el vértice está dividido como el maléolo tibial, en dos eminencias para la inserción del ligamento peroneo calcáneo.

El astrágalo.— Hueso que recuerda bastante bien a un caracol saliendo de su concha. Es un hueso corto, que ocupa la parte

Astrágalo del lado derecho (Tomado del Spalteholz)



El cuwepo del astrágallo tiene una forma más o menos cuboide. Su cara superior está formada por la polea astragalina, es convexa en el sentido anteroposterior y cóncava en el sentido transversal. Es más ancha en la parte anterior. La curvatura de la concavidad o transversal está más cerca del borde interno que del externo. La superficie está recubierta de cartílago.

La cara inferior tiene tres carillas articulares, recubiertas de cartílago para articularse con el calcáneo. Una está situada en la parte posterior de la cara y las otras dos están en la parte más anterior, estando a menudo unidas entre sí, pero distinguiéndose bien las dos carillas. La primera, la posterior, es la más grande. Tiene forma de fragmento de cilindro hueco, cuya concavidad se dirige hacia adelante y afuera, llegando hasta la cara inferior de la apófisis externa del hueso. Está separada de las otras dos por un surco rugoso e irregular llamado surco astragalino.

Las otras dos carillas anteriores son más pequeñas y planas con las superficies articulares medias y anterior y forman entre sí la cara articular calcánea anterior bipartita. Por la parte más anterior se continúan con la cabeza del hueso.

La cara posterior es casi un borde y muestra una eminencia hacia atrás que es la apófisis posterior del astrágallo. Está dividida en dos partes por un canal para el tendón del músculo flexor largo del dedo gordo. Los dos tubérculos así formados por dicho canal no son iguales, siendo el externo de mayor tamaño y encontrándose a veces como hueso independiente unido al resto del hueso con tejido conjuntivo, este hueso recibe el nombre de os trigonum de Bardeleben. La

La cara anterior que es la que forma el cuello

La cara interna.- Presenta en su parte superior una carilla articular de forma de coma horizontal, para el maléolo interno. La cabeza de la coma está en la parte anterior y la cola a la

posterior. Esta carilla está rodeada por delante y por abajo por una superficie rugosa destinada a inserciones ligamentosas.

La cara externa tiene una carilla articular para su maléolo correspondiente y está limitada por dentro y por detrás con superficies rugosas para la inserción de ligamentos.

Esta carilla está sobre un apófisis externa del astrágalo.

Estas dos superficies articulares maleolares descritas y la polea astragalina de la cara superior, forman una superficie articular única, están recubiertas por el cartílago hialino sin solución de continuidad. Por esto se denomina trochlea tali al conjunto de las tres carillas.

La cabeza del astrágalo. Ocupa la parte anterior del hueso, tiene forma redondeada y como su nombre indica, de cabeza. Toda su superficie es articular y lisa. Vista por delante es elíptica con el eje mayor en sentido oblicuo y hacia abajo y adentro (en el adulto forma con la horizontal un ángulo de 45°). Está rodeada por arriba y los lados por un borde muy marcado que la separa del cuello. Por su parte inferior se continúa hacia atrás por una carilla articular para articularse con el calcáneo y está separada por la carita articular inferior del cuerpo por el seno del tarso. El cartílago recubre sin solución de continuidad toda la superficie pero existen pequeñas aristas que delimitan dichas caras articulares.

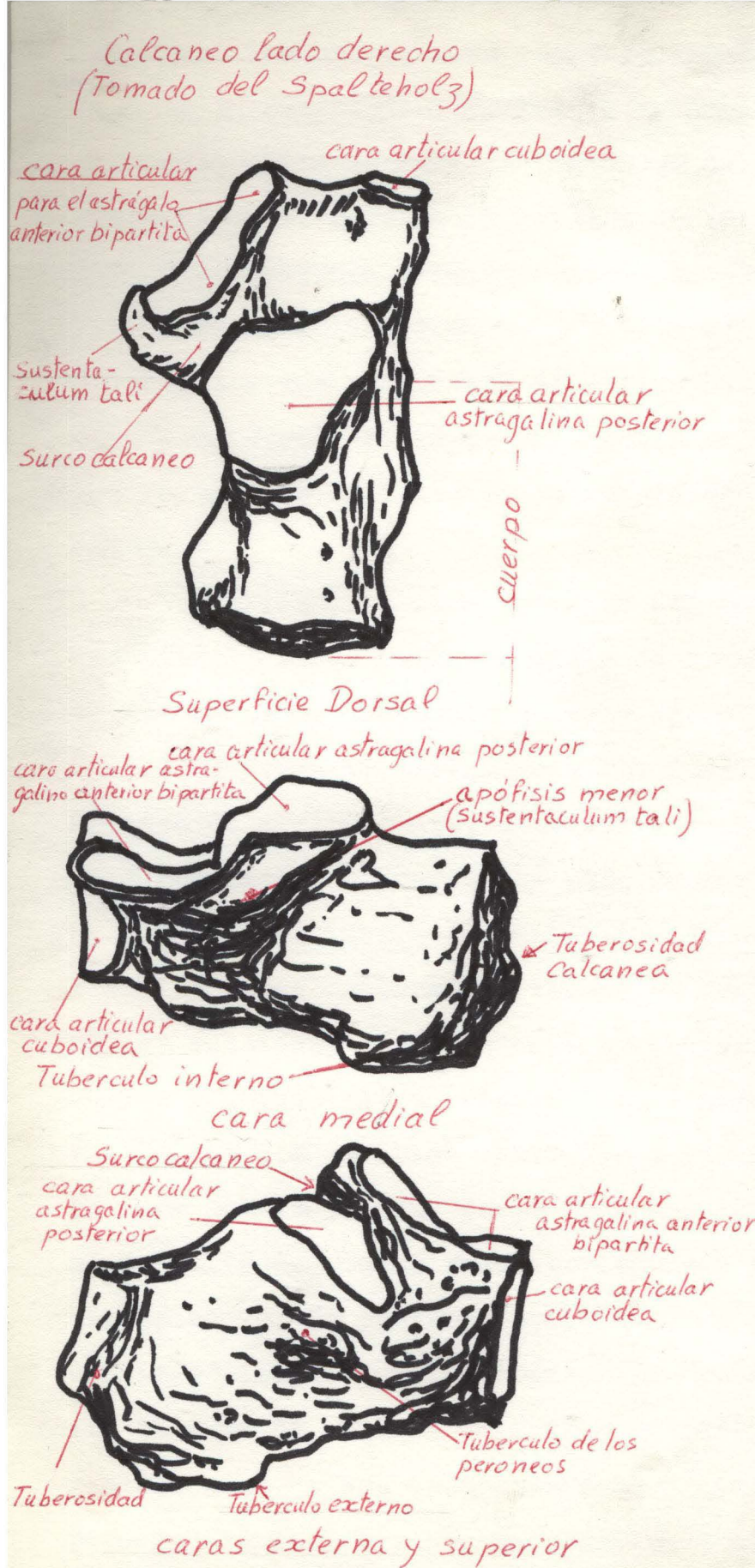
El cuello. Es ancho por arriba. Se estrecha hacia abajo y se excava en su parte inferior para formar el seno del tarso donde se presta inserción a muchos ligamentos. Los ejes de un plano vertical y sagital del cuerpo del cuello no tienen la misma dirección, sino que forman un ángulo abierto hacia abajo que varía según sea más plano el pie o no, A este ángulo se le llama

ángulo de inclinación. Lo mismo ocurre considerando un plano horizontal, formándose un ángulo de los ejes del cuerpo y cuello abierto hacia dentro y llamado ángulo de declinación. Por último, considerando un plano vertical, frontal que pasa por la cabeza, se observa que el eje mayor (referido anteriormente en la descripción de la cabeza) de la elipse forma con la horizontal un ángulo de 45°.

El Calcáneo.— Es el único de los huesos del tarso que se apoya sobre el suelo y es a su vez el más grande de ellos. Está colocado debajo del astrágalo pero sobresale por detrás. Su forma es bastante irregular aunque lo podemos comparar a una forma cuboidea. Está dispuesto de forma que sólo se apoya por su parte posterior alargada y su eje longitudinal se dirige hacia delante y hacia arriba contribuyendo a formar la bóveda plantar.

Empezaré su descripción por su cara interna ya que en ella se encuentra un detalle importantísimo que es el sustentaculum tali, es una especie de cornisa situada delante y arriba cuya función primordial es la de sostener el astrágalo. Este sustentaculum tali se denomina también apófisis menor del calcáneo y por su borde libre existe un surco para el tendón del flexor largo de los dedos. Inmediatamente por debajo de esta apofisis pasa el canal para el flexor largo del dedo gordo. Por detrás y abajo del sustentaculum tali, el resto de la cara interna está profundamente excavada y con el ligamento anular interno forma el canal calcáneo interno, destinado a servir de paso para los tendones, vasos y nervios, que vienen de la parte posterior de la pierna a la planta del pie.

La cara externa del calcáneo es la que corresponde a la piel, es menos alta por su parte anterior que por la posterior.



Como detalle importante en esta cara citamos al llamado tubérculo externo del calcáneo o tubérculo de los peroneos por ser estos músculos (peroneo lateral, corto y largo) los que se sirven de él a modo de polea de reflexión. Por eso en N.I. se denomina "Procemus trochlearis".

La cara inferior tiene en la parte posterior dos eminencias óseas llamadas tuberosidades internas y externa y ambas forman parte de la tuberosidad del calcáneo.

La cara posterior está formada por dicha tuberosidad constituyendo el talón propiamente dicho. La parte superior de esta tuberosidad es lisa mientras que la inferior es rugosa y sirve de in-

serción al tendón de Aquiles. La parte lisa está separada de este tendón por una bolsa serosa.

La cara superior es la que está en contacto con el astrágalo, pero sólo lo hace en su mitad anterior. Presenta esta cara tres carillas articulares correspondientes a las tres del astrágalo de su cara inferior. Una es la posteroexterna que es convexa y corresponde a la carilla posterior del astrágalo que es fuertemente cóncava. La otra carilla es la formada por las otras dos, y corresponde a la anterior bipartita del astrágalo.

Esta carilla articular dividida está separada de la posteroexterna por una ramura que se dirige hacia afuera y hacia delante y corresponde al marco del cuello del astrágalo. Este hueco así formado se le llama "Seno del tarso" o hueso astrágalo calcáneo.

Por último, la cara anterior del hueso es por supuesto la más distal, tiene forma de silla de montar, y hay autores que le dan forma de triángulo y otros dicen que es cuadrangular. De cualquier forma es irregular y los ángulos son redondeados; Es cóncava de arriba abajo, sobresaliendo más la parte de arriba. Está recubierta de cartílago para articularse con el cuboide.

Hueso cuboides.— Se halla situado delante del calcáneo y ocupa la parte externa del tarso. Su forma, como su nombre indica, es cuboidea, pero bastante irregular. Por delante tiene al cuarto y quinto metatarsianos y está articulado con ellos. Para ello tiene dos carillas articulares separadas por una cresta. La cara proximal tiene forma cuadrangular y está curvada en forma de silla de montar para corresponder a la carilla articular del calcáneo. Se prolonga hacia abajo y adelante para formar la apófisis piramidal del cuboides. Presenta una cresta pronunciada, oblicua de atrás a delante y de fuera a dentro, que divide a dicha cara en dos porciones desiguales. La más anterior es más pequeña, es lisa y sirve para dar paso al tendón del peroné lateral largo. La de la parte posterior está desplazada hacia afuera, es rugosa y está destinada a prestar inserción a ligamentos

y músculos.

La cara externa es irregular y se la puede considerar como un borde, es casi prolongación de la inferior.

La cara dorsal está orientada hacia fuera y arriba, es irregular y muy rugosa, dando inserción a fibras de músculo pedio.

La cara medial o interna se articula con la tercera cuña, para ello posee una carilla de forma elíptica ocupando sólo una parte. El resto de esta cara es rugosa e irregular para facilitar inserciones de ligamentos interóseos. Puede presentar, a veces, una carilla muy pequeña en la parte más posterior destinada al escafoides.

Hueso escafoides.- El escafoides es un hueso aplanado de delante atrás, tiene forma ovoidea arriñonada y se halla situado delante del astrágalo articulado con la cabeza de éste. Su nombre viene de la gran excavación que tiene en su cara proximal para articularse en la cabeza del astrágalo. Esta carilla tiene la misma forma que la cabeza de dicho hueso y presenta la misma orientación.

La cara distal o anterior es convexa y está articulada y dividida por dos crestas formando tres carillas para cada uno de los cuneiformes. Estas carillas o facies, son desiguales, siendo la más pequeña la externa y la mayor la interna.

Tanto la cara dorsal como la plantar pueden ser consideradas como bordes, son ambas muy rugosas para prestar inserción a ligamentos. La dorsal es algo más ancha y está curvada fuertemente en sentido transversal. El borde o cara inferior presenta una curvatura también muy pronunciada. Dicho borde por su parte interna se prolonga y forma la taberosidad o tubérculo del escafoides que a veces es independiente del resto del hueso. Es palpable fácilmente a través de la piel y en él se inserta el tendón del tibial posterior. La parte externa del hueso está en

contacto con el cuboides y en muchos casos existe una carilla articular (mencionada anteriormente) que los une y articula.

Los tres huesos cuneiformes.- Como se deduce de lo anteriormente escrito, estos huesos están colocados delante del escafoi-
des articulándose con él. La denominación que se les da es de 1º, 2º y 3º empezando del más interno al más externo. La forma que tiene es como su nombre indica, de cuña. El 1º es el más grande, siguiéndole el 3º y a éste el 2º. Están colocados hacien-
do de cuña entre el escafoides y el cuboides y los ^{cuatro} primeros me-
tatarsianos.

Cada cuña presenta una cara proximal, una distal, una cara interna, y otra externa, una cara dorsal o base y un borde infe-
rior o cara inferior.

El primero es el mayor de los tres, el borde inferior está hacia abajo, la cara superior está algo inclinada hacia afuera. La cara proximal está articulada con el escafoides. La cara dis-
tal tiene forma arriñonada y se articula con el primer metatar-
siano. La cara lateral o externa se articula con el segundo y en su parte anterior muestra una pequeña carilla articular para el segundo metatarsiano. La cara interna mira un poco hacia arriba y tiene un surco por donde pasa el tendón del tibial anterior. El segundo cuneiforme es el más pequeño de los tres. Su cara proxi-
mal está articulada al escafoides y su cara distal con el segun-
do metatarsiano. Por la cara externa se articula con el tercer cuneiforme y por su cara interna con el primero.

El tercer cuneiforme, al igual que los otros se articula con el escafoides por su cara dorsal o proximal. Su cara distal tie-
ne una carilla para el tercer metatarsiano. La cara interna tie-
ne dos carillas situadas delante y detrás de esta cara, la ante-
rior es para el segundo metatarsiano, y la posterior para el se-
gundo cuneiforme. Lo mismo ocurre para la cara lateral o externa. Tiene una carilla para articularse con el cuboides y otra para

el cuarto metatarsiano.

Las bases del segundo y tercer cuneiforme son rugosos para dar inserción a numerosos ligamentos.

Huesos metatarsianos.- Son cinco huesos largos homotipos de los metacarpianos de la mano. En general, y sin atender a las particularidades de cada uno, podemos describirlos diciendo que tienen: una extremidad posterior o base o epífisis proximal, una extremidad anterior o cabeza o epífisis o un cuerpo o diafisis de forma prismático-triangular. El hueso en conjunto es convexo hacia atrás y el primero es más corto que los demás y mucho más grueso. Por su extremo proximal se articulan con el tarso y por su extremo distal con las primeras falanges de los dedos.

Vistas las características comunes vamos a analizar los caracteres diferenciales de cada uno de ellos.

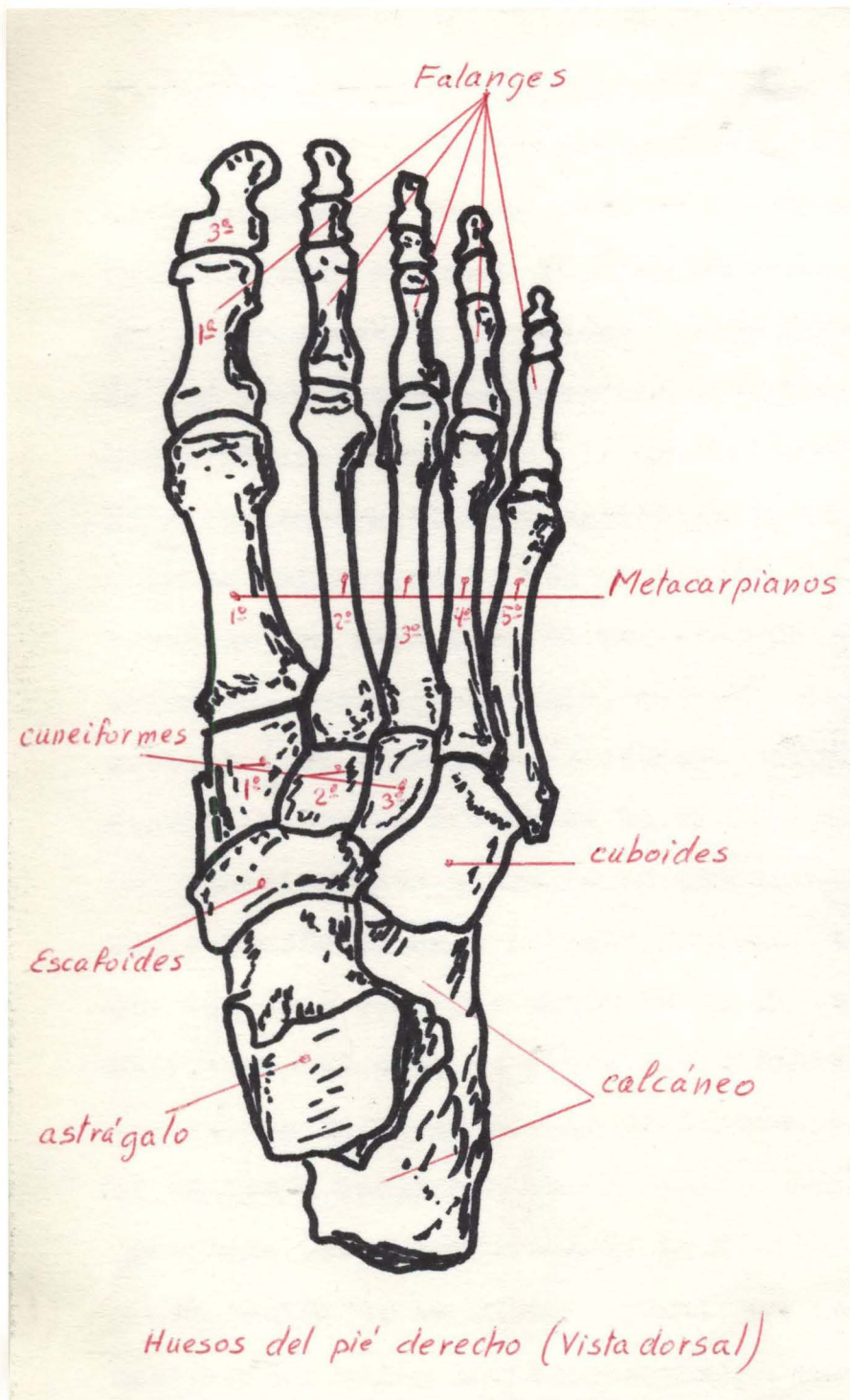
El primero es el menos parecido a los demás por su aspecto en conjunto. Es de aspecto robusto y es más corto que ninguno. Tiene ^{en} su base la carilla articular para la primera cuña y una apófisis para la inserción del peroné lateral largo. A veces presenta otra carilla articular para el segundo metatarsiano.

El segundo se caracteriza fundamentalmente por las carillas que tiene en su base, pues se articula con las tres cuñas. Tiene una principal para la segunda cuña y otras dos laterales para la primera y tercera. Además esta carilla externa está subdividida en dos, una para el tercer cuneiforme y otra para el tercer metatarsiano.

El tercer metatarsiano se articula con la tercera cuña y con el segundo y cuarto metatarsiano. Así, pues, la carilla de la cuña será dorsal y las correspondientes a los metatarsianos laterales.

El cuarto se articula con el cuboide, la tercera cuña y los dos metatarsianos correspondientes. La correspondiente al cuboide ocupa toda la cara dorsal del hueso.

El quinto sólo tendrá carilla para el cuboides y para el cuarto metatarsiano. En la parte externa de su base tiene un relieve óseo palpable a través de la piel, que es la apófisis estiboide del quinto metatarsiano destinado a la inserción del peroneo lateral corto.



Huesos de los dedos de los pies. Estos huesos reciben el nombre de falanges. Son tres por cada dedo menos en el primero que sólo tiene dos. Se las distingue por 1ª, 2ª y 3ª falange yendo de la más proximal a la más distal. No presentan particularidades de mucha importancia y en conjunto podemos decir que son huesos de tipo "larfos" y cada una del mismo dedo está articulada con la vecina. Las primeras lo harán con el metatarsiano correspondiente; las segundas, con las primeras y terceras, y las terceras con las segundas. Estos huesos son los homotipos de las falanges de la mano, pero aquí son

mucho más rudimentarios y se puede afirmar, por ejemplo, que en un 50 por ciento de los casos la 3ª y segunda del quinto dedo

están soldadas. Sin embargo las del primer dedo, aunque sólo sean dos, está en vías de desarrollo progresivo. En general, este dedo, es siempre el más largo y grueso del pie. La falange que falta en él es la segunda.

Estudio de las articulaciones del pie.-

Articulación del tobillo o de la garganta del pie.- Puede denominarse también tibio peroneoastragalina. Esta articulación está formada por varias, pero se la puede considerar como una unidad funcional mediante la cual se realizan los movimientos del pie con respecto a la pierna. Dicha unidad funcional está formada por tres articulaciones simples: la del astrágalo con la tibia o cámara proximal de la articulación del tobillo o articulación tibioastragalina o articulación supraastragalina.

La del astrágalo con el tarso a su articulación astragalotarsiana que está formada por dos, una, la del astrágalo con el calcáneo, astragocalcánea, que es posterior y otra anterior o articulación astrágalo-calcánea-escafoidea. Estos dos conjuntos forman la cámara distal de la articulación del tobillo.

Analizaremos ahora la cámara proximal del tobillo. Es una articulación troclear o tradeartrosis. Esta "polea" está formada por las tres carillas articulares del astrágalo (proximal, interna y externa) como ya vimos en la descripción del hueso. Tiene una extensión de un tercio de circunferencia, y es horizontal en el adulto e inclinada en el recién nacido. A esta troclea le corresponde las superficies de la tibia y maléolos tibial y peroneo. A esta unión de la tibia y perón se la llama "mortaja tibioperonea". Dicha unión la realizan los huesos en cuestión por medio de sus carillas correspondientes constituyendo una sindermosis. La fijación está realizada con fuertes ligamentos que parecen ser la continuación hacia abajo de la membrana interósea. Esta unión

no permite gran movilidad, pero sí una cierta elasticidad suficiente para una separación de los huesos, necesaria dado que la polea astragalina no tiene la misma anchura por delante que por detrás. La superficie articular de la tibia es sólo un tercio de la polea astragalina. Esta articulación posee una cápsula articular que se inserta en el límite del revestimiento cartilaginoso y tiene una serie de elementos de refuerzo laterales. La disposición de estos refuerzos es parecida para ambos lados, siendo fibras que irradian de los maléolos y van al astrágalo, saltando algunas hasta el calcáneo, pero en el lado interno están constituidas en forma de delta, de ahí su nombre de ligamentos deltoides. En el lado externo estas fibras están separadas en haces independientes.

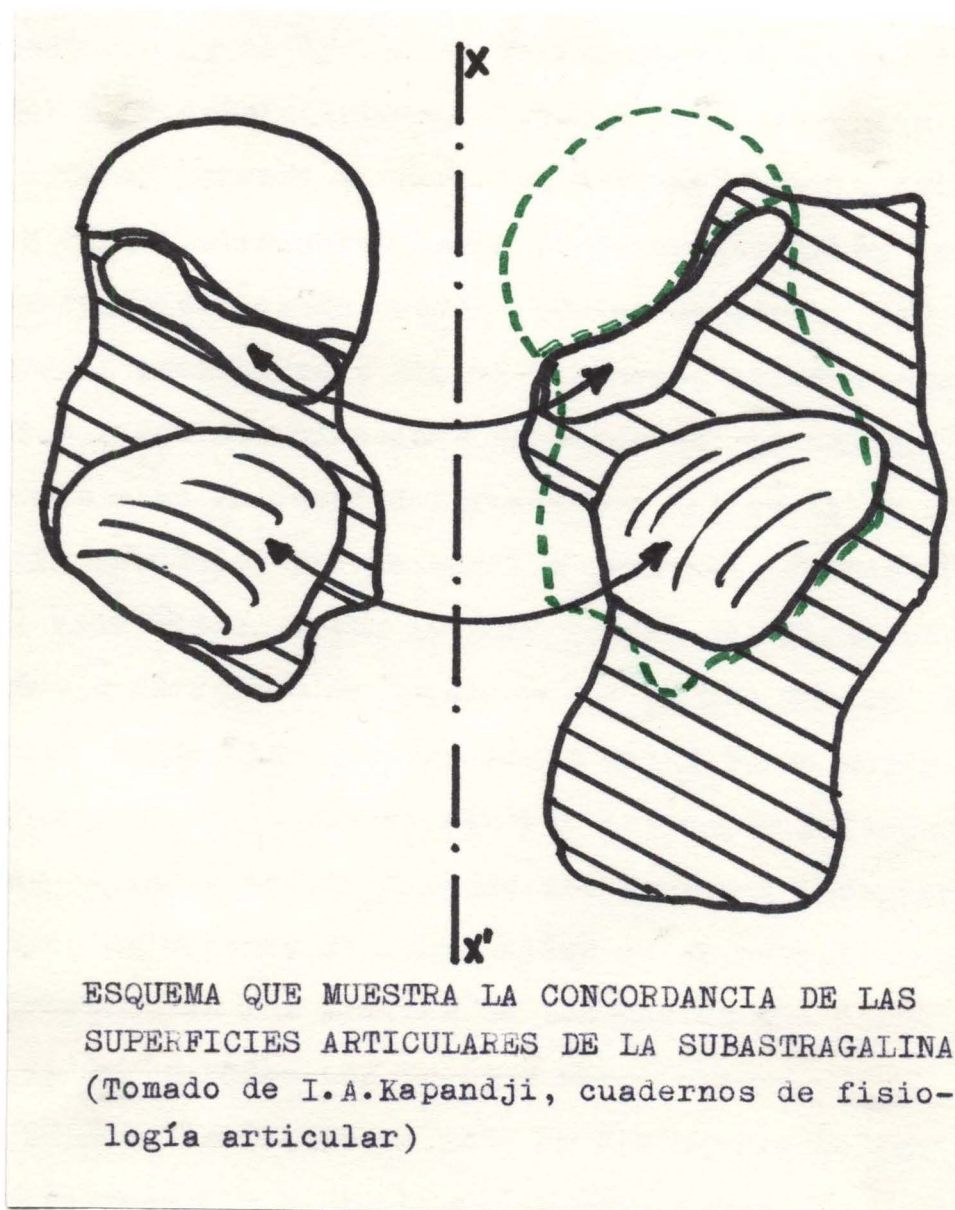
Los ligamentos más importantes son: el ligamento deltoideo, ya mencionado, tiene varios haces de fibras según la dirección de éstas. Se las denomina fibras anteriores, posteriores y medias. Las anteriores se fijan en el cuello del astrágalo, las medias van a insertarse en el sustentáculum tali y las posteriores van hacia el tubérculo interno de la apófisis posterior del astrágalo. Este ligamento limita, pues, los movimientos de flexoextensión y de pronación.

El ligamento peroneo-astragalino anterior va desde el maleo-to externo (borde anterior) a la parte externa del cuello del astrágalo. Este ligamento limita la flexión plantar del pie.

Ligamento perone-astragalino posterior.- Va desde la fosa que tiene el maléolo externo en su cara interna al tubérculo lateral de la apófisis posterior del astrágalo (Trigono). Limitará la flexión dorsal y la supinación.

Ligamento peroneocalcáneo.- Va del vértice del maléolo filular a la parte media de la cara externa del calcáneo. Este ligamento es independiente de la cápsula articular. Limita la flexión plantar y la pronación.

Articulación de la cámara distal del tobillo. Está constituido por dos articulaciones morfológicamente independientes. Cada uno de los huesos que forman la articulación tiene dos carillas articulares que se corresponden en forma y curvaturas. Una posterior o articulación calcaneoastragalina y otra anterior o astragalocalcaneoescafoidea. Anatómicamente se trata de una enartrosis (la anterior) y de una trodea (la posterior), pero ambas en combinación, es decir, desde un punto de vista funcional, se trata de un trochus.



Las superficies articulares para la articulación posterior o calcaneoastragalina, son la cara articular posterior del astrágalo para el calcáneo y la cara artiastragalina posterior del astrágalo para el calcáneo. Ambas están limitadas por delante y

oblicuamente por el canal óseo que va a constituir, con la unión de ambos huesos, el "sinustarsi" o seno del tarso. Ambas carillas se complementan, en su curvatura y forma y su descripción ya fue dada anteriormente.

La cápsula articular se inserta en los límites del revestimiento cartilaginoso y por la parte posterior y externa del calcáneo sube algo más, separándose de dicho revestimiento. Está toda ella reforzada por los ligamentos calcáneoastragalinos. Son el ligamento interno, el ligamento externo, el ligamento posterior y el ligamento anterior, este último formando parte del ligamento interóseo. Cada uno ocupa el lugar que su nombre indica uniendo siempre las dos huesos en cuestión.

Las superficies articulares de la articulación astrágalo-calcáneoescafoidea están cedidas por el calcáneo, por el astrágalo, por el escafoides y por el ligamento calcáneo-escafoideo inferior o ligamento glenoides de Farabeus. La cabeza del astrágalo se aloja en la cavidad formada por las carillas media y anterior del calcáneo, por la carilla proximal, fuertemente cóncava del escafoides. Y por la cara dorsal del ligamento calcáneo-escafoideo o glenoides de Farabeus que es una lámina ligamentosa de forma triangular que partiendo del reborde superior del sustentaculum tali, va hasta el reborde articular inferior del escafoides, cerrando así la cavidad por su parte inferior.

Existen soluciones de continuidad en el revestimiento de cartilago trialino en los límites de las partes que forman la cavidad y éstas están ocupadas por franjas sinoviales.

La cápsula articular se fija en los bordes de las superficies articulares.

Los ligamentos que refuerzan la articulación son varios, entre ellos, el descrito ya anteriormente, el ligamento calcáneo escafoideo inferior es no sólo un "colaborador" de la cavidad

articular, sino también un poderoso refuerzo para el sostenimiento del astrágalo, máxime cuando se ve reforzado por tres tendones de tres músculos que a su paso de la pierna al pie le prestan una valiosa ayuda (tibial posterior, flexor largo de los dedos y flexor largo del dedo grueso) colaborando en el sostenimiento del astrágalo: hueso que recibe todo el peso del cuerpo y que por ser además un hueso, sin ninguna inserción muscular, apoyado en el calcáneo (en posición de pronación) y únicamente sujeto por sus ligamentos, necesita de la ayuda máxima de todos los elementos de que dispone, para mantener así su equilibrio y evitar ese resbalamiento que daría lugar al clásico pie plano. Es pues, este conjunto ligamentotendinoso un elemento funcional más, indispensable para el buen equilibrio del pie.

Cuando describíamos la articulación calcaneo astragalina, vimos el ligamento anterior. Este ligamento está formado por el astragalocalcáneo interóseo que vamos a describir ahora. Está formado por dos planos y separados éstos por una bolsa serosa. Es el ligamento más robusto de los descritos hasta ahora y podíamos decir que es común de las dos articulaciones que forman la cámara distal. Está colocado de forma que llena el "seno del tarso" y está dispuesto perpendicularmente y por fuera del eje de la articulación. Se la llama también, por su forma, "ligamento en seta". En esta articulación también influye y puede considerarse de ella, los ligamentos externo e interno descritos en la articulación de la cámara distal.

Articulación calcáneo cuboidea.- Las carillas articulares de ambos huesos fueron ya descritos. Son triangulares y están recubiertas de cartílago triangular. La cápsula se fija en los límites de este cartílago y está reforzada por ligamentos. Tenemos el

ligamento calcaneocuboideo plantar que es ancho y robusto. Va del calcáneo al cuboideo por su superficie plantar y tiene algunas digitaciones que llegan a los metatarsianos. Existe también el ligamento calcaneo-cuboideo dorsal pero son fascículos que van del calcáneo al escafoides.

Existe un ligamento importante que es el ligamento en Y o ligamento bipartito. Parte de la cara dorsal del calcáneo en su zona más anterior y externa. Se divide en dos ramas en forma de Y y forma dos haces, el más interno va al escafoides y el externo llega a la cara dorsal del cuboides.

Articulación de Chopart.- Hemos estudiado anteriormente la articulación calcaneocuboidea y también la astragalocalcánea-escafoidea. La línea formada por las superficies del calcáneo y el cuboides por un lado y la de la cabeza del astrágalo y el escafoides por otro, se denomina línea o articulación de Chopart. Designa esta línea una superficie de amputación y es una línea continua con forma de S horizontal. El ligamento en Y o bipartito es el centro o punto de la tangente de estas dos curvas: Es una línea que está referida por distancias a dos detalles óseos de importancia palpables en el vivo (tuberosidad del escafoides y apófisis estiloides del quinto metatarsiano).

Otras articulaciones del tarso.- Escafo-cuneales, intercuneales y cuboideocuneales. Sin articulaciones desprovistas de movimientos activos, anatómicamente son artrodias, pero funcionalmente son anfiartrosis. Colaboran a la movilidad y elasticidad general del pie. Su nombre indica de qué huesos está formada cada una. Existen ligamentos interóseos que las unen y sus carillas ya fueron estudiadas en la descripción de los huesos.

La línea interarticular de Lisfranc o tarsometatarsiana.- Es la línea que deja en un lado (la parte más proximal) a los huesos del tarso y al otro (el más distal) los cinco metatarsianos y los dedos. Esta línea comienza en el borde externo del pie a nivel de

la apófisis estiloides del quinto metatarsiano y termina en la apófisis del primer metatarsiano. En realidad no se trata de una articulación, sino de tres completamientos independientes.

Articulaciones intermetatarsianas.- Como ya vimos anteriormente en la descripción de los metatarsianos, éstos presentan unas carillas articulares en su caras laterales de las bases para articularse con sus vecinas. Tienen ligamentos por sus caras dorsales y plantares que las refuerzan. Estos ligamentos se continúan con otros que son tarsometatarsianos, también dorsales y plantares. Existen otros además que son sólo tarsianos, que se extienden entre las caras dorsales de los huesos del tarso, y las caras plantares de los mismos.

En las articulaciones descritas anteriormente y que corresponden a los huesos del tarso y los metatarsianos, se realizan ligeros movimientos de deslizamiento de los huesos, pero nunca grandes movimientos realizados de una forma activa muscular sino de una forma pasiva.

Articulaciones metatarso falángicas e interfalángicas.- Las articulaciones metatarso-falángicas pueden ser consideradas como enartrosis y las interfalángicas como troqueartrosis. Las metatarso-falángicas del dedo grueso difiere a las restantes por ser éste el que realiza el último esfuerzo en el momento en que el pie se despega del suelo al darse un paso. Tiene en su cara plantar dos sesamoides que la caracterizan.

Existen rodetes glenoideos y cápsulas ligamentosas en cada una de ellas. En general todos los movimientos son bastante escasos, pero son suficientes para que el conjunto de todos ellos colabore eficazmente a dar salidas al pie. El movimiento más acusado es la flexoextensión. La aducción y la abducción son muy

débiles. De una forma pasiva, nosotros podemos imprimir movimientos de rotación a cada uno de los dedos, pero no existe ninguna fuerza motora que haga este movimiento.

Aparato motor del pie

Músculos de la pierna

Dorsales	{	Anteriores	{	Tibial anterior	{	
				Extensor largo común de los dedos		
				Peroneo anterior (inconstante)		
				Extensor del dedo gordo		
Ventrales	{	Laterales	{	Peroneo lateral corto	{	
				Peroneo lateral largo		
	{	Profundos	{	Tibial posterior	{	
				Flexor largo del dedo gordo o flexor peroneo		
				Flexor largo de los dedos o flexor tibial		
		Superficiales	{	Triceps sural	{	Tendón de Aquiles
				Plantar delgado		
	{		{	Geminus o gas-tronemicos	{	
				Soleo		

(Cuadro tomado de Ors Ilorca - Anatomía humana)

Estos músculos pueden llevar el nombre de músculos largos del pie y de los dedos. Todos ellos con excepción de los dos gemelos y plantar delgado se originan en los huesos de la pierna o membrana interósea y se insertan en los huesos del tarso, metatarso o dedos. Todos ellos cruzan la articulación del tobillo, aquí que serán motores activos del pie. Los podemos clasificar en músculos dorsales y músculos ventrales, pero aquí llamaremos ventrales a los que están colocados detrás y dorsales a

los que están por delante, debido a la inversión que han sufrido los miembros inferiores en su evolución. De esta forma los ventrales realizarán la flexión plantar y los dorsales la flexión dorsal del pie. Estos dos grupos musculares están separados por la membrana interósea, por la cara interna de la tibia en la que no se inserta ningún músculo y por la cresta externa del peroné. Los músculos dorsales harán movimientos de flexión dorsal pues sus tendones pasan todos por delante del eje transversal de la articulación, a excepción de los peroneos que van hacia atrás y cruzan el eje por detrás. Estos músculos tendrán más componentes de supinación-peroneo-adiucción y abducción, según vayan por uno u otro lado del eje longitudinal del "trochus" subastrágalino. Los músculos ventrales, sin embargo, serán flexores plantares por análoga razón. Estos músculos son mucho más voluminosos que los dorsales debido al tipo de trabajo que tienen que realizar como es el levantar el peso del cuerpo y además mantener el equilibrio en la postura bípedo-tacional.

Músculos dorsales.— Estos músculos los vamos a dividir a su vez en músculos anteriores y músculos laterales. En el grupo de los anteriores están el peroneo anterior (inconstante), el tibial anterior, el extensor largo de los dedos y el extensor largo del dedo grueso.

El tibial anterior tiene forma prismaticotriangular, es alargado y se halla situado en la parte anterior de la pierna, por su cara dorsal está en contacto con la cara externa de la tibia. Se origina en el condilo externo y cara exterior de la tibia, en la membrana interósea en la aponeurosis de la pierna. El músculo se continúa hacia abajo en un tendón que pasa por delante del eje anterior de la garganta del pie y termina insertándose en la cara plantar de la primera cuña y principalmente en la cara plantar del primer metatarsiano. Este músculo realiza la función de flexión dorsal, aunque en determinadas posiciones puede actuar como

pronador o como supinador.

Peroneo anterior generalmente está formado por fibras del extensor largo de los dedos que describiremos a continuación.

Extensor de largo común de los dedos.- Se encuentra situado en el lado externo y anterior de la pierna. Tiene relación directa con el tibial anterior y con el exterior largo del dedo gordo que pasan ambos por su cara anterior. Externamente y por detrás se relaciona con el peroneo lateral largo y peroneo lateral corto. Se origina en el condilo externo de la tibia, en la cabeza y cresta anterior del peroné, en la membrana interósea y en la aponeurosis de la pierna. Desciende transformándose en un tendón que acaba dividiéndose en cinco divergentes, que pasando por debajo del ligamento anular del tarso van a dirigirse a los dedos. Los cuadros internos van a insertarse en los cuatro últimos metatarsianos y después de unirse a los correspondientes del músculo pedio continúan hasta alcanzar las últimas falanges por medio de unas lengüetas laterales. Esto no ocurre así ni en el quinto ni en el primer dedo. El tendón del primer dedo ya hemos mencionado antes que constituye por sí solo el músculo peroneo anterior, aunque generalmente no constituye músculo totalmente independiente. Termina en la base del quinto metatarsiano en su cara dorsal.

Este músculo realiza la flexión dorsal del pie, es también pronador y abductor.

Extensor largo propio del dedo gordo.- Es un músculo monoepi-
riforme. Su porción carnosa está casi oculta por los músculos anteriormente descritos y por su parte inferior está debajo de la piel. Se origina en la cara interna del peroné y membrana interna, descende hacia el pie cruzándose diagonalmente hacia la parte anterior del tarso y sigue a la cara dorsal del primer metatarsiano y alcanza la base de la falange terminal del dedo gordo. Su acción es la de extender el dedo gordo, puede también realizar la flexión dorsal del pie así como hacer de pronador y abductor pero

muy ligeramente debido a su posición oblicua.

El grupo lateral de los músculos dorsales está formado por los peroneos.

Peroneo lateral largo.— Este músculo de forma aplanada y biperniforme está situado superficialmente en la región externa de la pierna. Por su porción alta se apoya en el peroné y por su porción inferior sobre el peroné lateral corto. Tiene por delante el extensor común de los dedos y por detrás al soleo. Se origina en el peroné, cabeza y cara externa, y en la aponeurosis de la pierna así como en tabiques intermusculares. Se dirige hacia abajo transformándose en un tendón que alcanza el maléolo externo por su parte posterior y reflejándose hacia delante y continuando por la cara externa del calcáneo por un canal estudiado ya en dicha cara y alcanzando el tubérculo externo del calcáneo (Procesus trochlearis) que la usa a modo de polea. Llega al cuboides y cambia de dirección llegando a la planta del pie usando para ello el tubérculo del cuboides. Por la planta del pie cruza oblicuamente y hacia adelante al cuboides y a la tercera y segunda cuñas, llegando hasta la primera cuña y la cara proximal del metatarsiano que le prestan inserción. Su acción es de flexión plantar del pie, además podrá ser abductor filular y pronador.

Peroneo lateral corto: es aplanado y biperniforme al igual que el anterior. Está situado en la cara lateral externa de la pierna, cubierto casi totalmente por el anterior. Tiene por su parte anterior el extensor común de los dedos y por detrás al flexor largo del dedo gordo. Se origina en la cara externa del peroné y en tabiques intermusculares. A partir del tercio distal de la pierna se convierte en un tendón que se dirige, casi paralelamente con el tendón del músculo anterior, al maléolo externo, pasa por la cara anterior del tubérculo de los peroneos del calcáneo (Processus trochlearios) y se dirige hacia el apófisis es-

tiloides del quinto metatarsiano. Es un músculo extensor del pie y también puede ser pronador y abductor.

Estos dos músculos en conjunto son flexores plantares puros ya que ambos cruzan el eje transversal de la articulación por detrás. Sin embargo al pasar por el lado externo del eje antero-posterior de la trodea subastragalina, se convierten en músculos abductores filulares y pronadores. Para que los peroneos sean flexores plantares puros es necesaria la acción antagonista de los músculos ventrales que anularán la acción de abducción fibular de los peroneos. Cuando existe una preponderancia de los músculos peroneos y a su vez una debilidad del tibial anterior, que como vimos tenía un gran tendón que colaboraba en mantener al astrágalo en su sitio, entonces se produce ese derrumbamiento clásico del pie plano.

Músculos ventrales de la pierna.— Son los músculos que están en la parte posterior y los dividiremos en ventrales profundos y en ventrales superficiales.

Ventrales profundos.

Tibial posterior: este músculo de forma monopermiforme está situado inmediatamente detrás de la membrana interósea y de los huesos tibial y peroné. Cubierto por detrás por el músculo soleo y a ambos lados tiene el flexor común largo de los dedos y al flexor largo propio del dedo gordo. Se origina en las caras posteriores de la tibia y de la membrana interósea y en una pequeña porción de la cara interna del peroné. Su tendón desciende recibiendo fibras oblicuas por su cara externa hasta casi los maléolos. Este tendón se dirige por encima del maléolo tibial (surco maleolar) y mantenido por el ligamento circular del tarso hacia la cara interna del ligamento deltoideo y ligamento calcáneo escafoideo, ganando así la planta del pie en contacto íntimo con los huesos de la misma. Lanza ramificaciones para insertarse en la tuberosidad del escafoideo, en la cara plantar de las tres cuñas, en las extremidades proximales del segundo y cuarto metatar-

sianos y en el cuboides. Este músculo realiza la flexión plantar del pie y es también aductor y supinador. Esta última acción es muy importante. Es un músculo que junto con el peroneo lateral largo contribuye muy eficazmente al mantenimiento de la bóveda plantar, evitando el ensanchamiento del pie debido al peso del cuerpo.

Flexor largo del dedo gordo o flexor peroneo.- Músculo alargado y bipensiforme que se halla situado en contacto con la cara posterior del peroné y del tibial posterior. Tiene por fuera a los músculos peroneos y por dentro al flexor largo común de los dedos. Está tapado por detrás por el músculo soleo. Se origina en los dos tercios distales de la cara posterior del peroné, así como en una porción de la membrana interósea. Converge hacia abajo en una lámina tendinosa y a la altura del maléolo tibial comienza el tendón del músculo que pasando por los canales correspondientes del calcáneo y astrágalo (canal posterior del astrágalo y parte inferior del sustentaculum tali) se dirige hacia delante para llegar a la planta del pie e insertarse en la tercera falange del dedo gordo. Tiene además otras inserciones accesorias que las realiza por medio de prolongaciones tendinosas a los tendones del flexor largo de los dedos.

Es un potente flexor del dedo gordo, además es flexor plantar del pie así como aductor y supinador. Es fundamental en el movimiento de "Desarrollamiento" del pie en la marcha. Además es otro de los músculos que colaboran en mantener derecho al calcáneo, pues su tendón sirve de apoyo al pasar por debajo del sustentador tali evitando así el derrumbamiento.

Flexor largo de los dedos, o flexor tibial.- Músculo ventral y profundo de forma biperniforme que se extiende desde la cara dorsal de la tibia hasta los cuatro dedos trifalángicos. Cruza oblicuamente por su cara dorsal al tibial posterior. Por su cara externa se relaciona con el flexor del dedo gordo y está tapado

por detrás por el soleo. Se origina en el tercio medio de la cara posterior de la tibia (flexor tibial) y en tabiques intermusculares. Se continúa hacia abajo con un tendón cilíndrico que colocándose por detrás del tendón del tibial posterior pasa por la cara interna del ligamento deltoideo y por el borde interno del sustentaculum tali llegando a la planta del pie. Aquí se cruza con el tendón del flexor largo del dedo gordo y se separa en cuatro tendones que se dirigen a la cabeza de los cuatro últimos metatarsianos insertándose en las falanges terminales de los dedos. Para llegar aquí, antes ha tenido que perforar los tendones del flexor corto plantar (tendones perforantes y perforados respectivamente).

La acción es de flexión de los cuatro dedos. Esta acción es menor que la que realiza el del dedo gordo y en la del segundo y tercero le ayuda las digitaciones que mandaba dicho tendón. Otras acciones importantes son las de flexo-plantar del pie, aducción y supinación, siendo ésta última la más intensa. Es un músculo que contribuye enormemente al mantenimiento de la bóveda plantar.

Triceps sural.- Es un músculo del grupo de los ventrales superficiales y está formado por tres cabezas de origen y un solo tendón de inserción (tendón de Aquiles). Estas cabezas casi independientes reciben los nombres de soleo y gastronemios.

El soleo tiene forma de suela de zapato. Es aplanado, grueso y fusiforme, casi completamente tapado por su cara posterior por los gemelos. Se origina en la cabeza, cara posterior del peroné. en la línea poplitea de la tibia en un área tendinosa existente entre ambos huesos. Sus fibras terminan en una lámina tendinosa que se continúa hacia abajo con el tendón de Aquiles. Es un músculo que extiende el pie en flexión plantar. Colabora enormemente en los movimientos de la marcha, carrera, y saltos. No colabora en la formación de la bóveda plantar.

Músculos gastronémicos o gemelos.- Reciben este nombre por ser dos cuerpos musculares iguales. Forman la masa principal de la pantorrilla. Estos músculos se originan en el fémur cruzando la articulación de la rodilla (son pues biarticulares) y sus fibras descienden hasta formar un tendón que junto con el soleo será el tendón de Aquiles que se inserta en la cara posterior del calcáneo en su porción inferior (tuberosidad del calcáneo). Su acción es igual que la del soleo. Habría pues que considerar la acción conjunta de los tres, como músculo triiceps. Este músculo tira del talón hacia arriba realizando un fuerte brazo de palanca y consiguiendo así elevar el cuerpo sobre las puntas de los pies. Es además un músculo supinador y aductor.

Músculo plantar delgado.- Es el otro músculo de la pierna que es biarticular por originarse en el fémur. Es muy pequeño y está situado entre el soleo y los gemelos. Su tendón se confunde también con el del soleo y gemelos, así que se puede considerar como parte de un músculo cuádriceps. Su acción es la de contraerse con los gemelos y evitar así pellizcamientos de la cápsula articular de la rodilla. Como vemos es un músculo que no nos interesa para nuestro estudio de la bóveda plantar.

Músculos cortos del pie

Músculos dorsales	(Pedio	(Interóseos externos
	(Región plantar	(Interóseos internos
	(media	(Lumbicales
	((Cuadrado de Silvio
	((Flexor corto plantar
Músculos ventrales	(Región plantar interna o del dedo gordo	(Aductor del dedo gordo
	((Flexor corto del dedo gordo
	((Abductor del dedo gordo
	(Región plantar externa o del 5º dedo	(Oponente del 5º dedo
	((Flexor corto del 5º dedo
	((Abductor del 5º dedo

(Cuadro tomado de Ors Llorca, Anatomía humana)

El pedio.— Es el único músculo de la región dorsal del pie. Está inmediatamente por encima de los huesos. Se origina en la cara anterior y externa del calcáneo, justamente por delante del seno del tarso. Este músculo forma cuatro vientres musculares que divergen hacia delante, formando cada una un tendón que alcanzan los cuatro metatarsianos. Los del segundo, tercero y cuarto, llegan hasta las últimas falanges uniéndose a los correspondientes del extensor largo común. El del primer dedo algunos autores lo denominan extensor corto propio del dedo gordo por ser más independientes que los demás. Llega a insertarse en la base de la primera falange del dedo gordo. Este músculo extiende los cuatro primeros dedos y es colaborador del ext. largo de los dedos. Tiene una componente que hace desplazar hacia afuera a los dedos corrigiendo así la oblicuidad del extensor largo.

Región plantar media

Interóseos externos.- Se denominan también interóseos dorsales. Son cuatro y ocupan los espacios intermetatarsianos. Estos músculos no son muy importantes para los movimientos del pie ya que dicha movilidad se ha perdido por el uso del calzado, pero sí son importantes en cuanto a la sujeción que prestan y colaboración del mantenimiento de la bóveda plantar. Se origina en toda la cara de los metatarsianos que no mira al eje del pie (el eje del pie se encuentra en el segundo metatarsiano y dedo) y en la mitad proximal de la cara que mira a dicho eje. Se insertan en la falange proximal. Tendrán entonces una acción de flexión de la primera falange y de abducción de los dedos.

Interóseos externos o ventrales son tres y están situados en los espacios intermetatarsianos más externos. Son antagonistas de los anteriores y para ello estarán de forma que su origen será la parte ventral de la cara que mira al eje y se inserta en la cara interna de la primera falange del dedo correspondiente. Sólo tienen esta inserción el tercero, cuarto y quinto dedos. Este músculo desplazará hacia dentro dichos dedos.

Músculos lumbricales.- Son muy pequeños, de forma fusiformes y situados entre los tendones del músculo flexor largo común de los dedos. Son cuatro y nacen de estos mismos tendones, de sus bordes que se miran entre sí, menos el del segundo dedo (primer lumbrical) que nace de su borde interno. Se insertan en el lado interno de la base de la primera falange de los cuatro últimos dedos. Su acción es muy limitada, sólo flexiona la primera falange de los cuatro últimos dedos. Su función principal es la de proteger las cabezas de los metatarsianos contra la presión directa del suelo.

M. Cuadrado de Silvio.- O músculo accesorio del flexor largo. Tiene forma cuadrangular, aplanado, está situado en la planta del pie. Se origina por dos fascículos en la tuberosidad ex-

terna e interna de la tuberosidad del calcáneo y en su cara inferior. Se dirige hacia adelante y acaba en el borde externo del tendón del flexor largo común de los dedos inmediatamente por delante de la decusación plantar (cruce de los tendones del flexor largo del dedo grueso, del flexor largo común de los dedos).

M. Flexor corto del plantar.- Es un músculo grueso y alargado que está situado inmediatamente debajo de la aponeurosis plantar. Se origina en la tuberosidad interna del calcáneo y aponeurosis plantar. Sus fibras se dirigen hacia delante divergiendo y formando cuatro tendones. Estos tendones a nivel de la primera falange se dividen en dos y entre medias pasan los correspondientes del flexor largo común de los dedos. Estos pares de haces se insertan en las segundas falanges de los cuatro últimos dedos. La acción es de flexión de la segunda falange de los cuatro últimos dedos, pero su función principal es la de contribuir al mantenimiento y acortamiento de la bóveda plantar en sentido longitudinal. Es un músculo que por algunos autores es considerado como inconstante y creen que está en vías de regresión.

Región plantar interna del dedo gordo.

Aductor del dedo gordo.- Está colocado en la planta del pie y transcurre inmediatamente por encima del flexor corto plantar y de los tendones del flexor largo común de los dedos y de los lumbricales. Es un músculo formado por dos haces y una sola inserción. Uno de estos haces es oblicuo y nace del ligamento plantar largo, de la base del cuboide, base de la tercera cuña y base de los metatarsianos segundo, tercero y cuarto. El otro es un fascículo transverso que nace de la cápsula de la articulación de metatarsofalángica de los cuatro últimos dedos y del ligamento transverso del metatarso. Los dos haces van a insertarse en el sesamoideo externo de la base del primer metatarsiano y en la base de la primera falange del dedo gordo. Como otros

tantos músculos ya estudiados, éste es uno más a contribuir a la sustentación de la bóveda plantar, siendo ésta su principal función. Es además un aductor del dedo y flexiona la primera falange.

Flexor corto del dedo gordo.- El flexor corto plantar está bifurcado teniendo estos haces un mismo origen, pero diferente inserción. Está situado en la planta del pie y es casi superficial. Se origina en las caras plantares de cada una de las cuñas en el hueso escafoides, en el ligamento calcáneo escafoideo plantar y en el tendón del tibial posterior. Sus fibras divergen y forma dos cuerpos musculares continuadores ambos con un tendón, entre medias de éstos pasará el tendón del flexor del dedo gordo. Estos tendones van a insertarse en cada uno de los sesamoideos y en la base de la primera falange. El externo lo hace confundiéndose con el haz oblicuo del aductor y el interno lo hace de igual manera con el del abductor. Su acción es también la de mantener la bóveda plantar, pero es un músculo destinado especialmente a "ser conductor" (Os Llorca) del tendón del músculo flexor largo del dedo gordo. Está formado como una especie de "carril" que sujeta a dicho tendón.

Abductor del dedo grueso.- Es el más superficial del borde interno de la planta del pie. Está tapando parcialmente al flexor corto del dedo gordo. Tiene forma triangular alargada y bicipniforme. Se extiende desde el calcáneo a la segunda falange del dedo gordo. Se origina en la tuberosidad interna del calcáneo, ligamento anular interno del tarso y maléolo tibial. Todas estas fibras convergen hacia delante y van a un tendón que se dirige hacia el dedo insertándose en el sesamoideo interno justamente con el ya mencionado anteriormente vientre interno del flexor corto, también se inserta en la primera falange de este dedo.

Este músculo es el que forma la parte más arqueada de la bóveda plantar, así que colaborará también a mantenerlo y a acortarlo. Su acción sobre el dedo gordo es de separarlo sobre el resto del pie, es decir lo lleva hacia el eje del cuerpo.

Este músculo se menciona con el nombre del movimiento que hace, pero referido al eje del pie, es decir que es abductor (separador) del dedo gordo y el anteriormente descrito es aductor (aproximador). Puede que haya confusión con respecto a esto ya que hay autores que los designan al contrario debido a que los relacionan con el eje del cuerpo y entonces el aductor será abductor y viceversa. La nomenclatura internacional los nombra refiriéndose al eje del pie.

Región plantar externa o del quinto dedo.

Está formada por tres músculos, uno oponente del quinto dedo, otro flexor corto del mismo y un tercero que es abductor (separador).

El oponente del quinto dedo y el flexor corto del mismo dedo, muchos autores los consideran como un solo músculo con dos inserciones diferentes. El origen lo tienen ambos en la aponeurosis plantar y en la vaina del tendón del peroneo lateral largo, el flexor corto tiene origen también en la base del quinto metatarsiano. Sus fibras se separan hacia delante y forman los dos músculos en cuestión, el flexor corto termina en la base de la primera falange del quinto dedo confundiéndose con el dedo abductor del quinto dedo. El oponente se inserta en la mitad externa del cuerpo del quinto metatarsiano. La acción de estos músculos es mínima en cuanto a movimiento se refiere, pero son colaboradores del mantenimiento de la bóveda. El oponente del quinto dedo atrae al quinto metatarsiano hacia la planta del pie y colabora a mantenerlo estrecho. El flexor corto desplaza al quinto dedo hacia dentro y abajo y por estar en unión con la aponeurosis plantar colabora en el acontecimiento de la bóveda.

Anductor del dedo pequeño.- Es el más superficial por el borde externo del pie. Es también el más largo y el más robusto de los tres últimos estudiados. Tiene forma cilíndrica y ocupa todo el borde externo del pie y sólo está recubierto por la aponeurosis plantar y la piel. Se origina en la cara plantar del calcáneo y en su tuberosidad externa. Otras fibras nacen de la aponeurosis plantar y apófisis estiloides del quinto metatarsiano. Las fibras, dirigidas hacia delante y afuera, llegan a un tendón que se inserta en el quinto metatarsiano y base de la falange del mismo dedo. El movimiento que puede realizar es de flexión de la primera falange y sólo en los niños pequeños es capaz de separarlo hacia afuera. Sin embargo es el músculo de la zona externa del pie que más activamente colabora en el mantenimiento de la bóveda plantar.

Para terminar la descripción anatómica del pie hablaré de unos ligamentos muy importantes no incluidos anteriormente en ninguna descripción de las articulaciones. Estos ligamentos a que me refiero son los anulares del tarso y la aponeurosis plantar.

A nivel de la garganta del pie, la aponeurosis se fortalece enormemente y forma así los ligamentos anulares externo, interno y anterior. Aunque son ligamentos independientes, sin embargo la función es la misma para los tres. Forman una especie de "brazalete" que junta y adhiere los tendones de los músculos largos, que al llegar a esta zona cambian de dirección y se dirigen hacia delante. Si no existiera esta sujeción, al encontrarse estos músculos, se separarían de los huesos y (o se trasladarían hacia adelante en el caso de los laterales) y se menoscabaría la función de los mismos. Es pues un elemento funcional para el buen funcionamiento del pie.

La aponeurosis plantar es extremadamente importante para el mantenimiento de la bóveda. Cubre toda la planta del pie, aunque en su porción media está muy reforzada tomando forma triangular

de vértice posterior y cuya base está dividida en cinco fascículos tendinosos que forman la base dicho triángulo. El hecho de que esté fuertemente fijada en la parte proximal y distal de la planta es suficiente para pensar en la gran función que realiza de cortamiento de la bóveda. Además tiene ramificaciones hacia el interior del pie y hacia los lados que colaboran aún más a esta sujeción.

-, -

2. b. Breve estudio de los movimientos del pie y ángulos de movilidad

En este estudio me dedicaré exclusivamente al análisis de los movimientos de las articulaciones intertarsianas, tarsometatarsianas, metatarso-falángicas e interfalángicas, que son las articulaciones intrínsecas del pie y mediante las que la bóveda plantar se adapta y se modifica.

La articulación tibiotalariana tiene la misión de orientar al pie en un plano sagital (movimiento de dorsiflexión) y actúa sobre él como conjunto, más o menos modificable por las otras articulaciones ya mencionadas.

Se define como movimiento de "flexión" del tobillo a la acción que produce un acercamiento de la cara dorsal del pie con la cara anterior de la pierna, y como "extensión" al alejamiento del dorso del pie de dicha cara anterior. Para medir estos movimientos se parte de una posición cero que corresponde a la de estar formando un ángulo recto entre el plano de la planta del pie y el eje longitudinal de la pierna. Todo lo que sea cerrar este ángulo será flexión y todo lo que sea abrirlo será extensión. La amplitud de este ángulo oscila entre los 20° y los 30° para la flexión, y de 30° a 50° para la extensión. Es pues bastante más amplia la extensión.

Estos movimientos llevados al punto máximo pueden ser aumentados haciendo colaborar a las articulaciones restantes del pie. Así la flexión se puede conseguir algunos grados más por medio de una extensión de los dedos y de un aplanamiento de la bóveda plantar. Y contrariamente, en la extensión podemos añadir algunos grados con la flexión de los dedos y aumento de la curvatura plantar.

Estos movimientos están limitados por factores óseos, capsuloligamentosos y musculares, proporcionando así una estabilidad anteroposterior de la articulación, que se complementa a

su vez con una estabilidad transversal gracias a la "mortaja tibioperonea".

Considerando la articulación tibiotarsiana , las subastragalinas y restantes del tarso, podemos definir cuatro movimientos en el pie (Rosch-Bunke).

La flexión y la extensión (ya analizadas).

La eversión: movimiento por el cual la planta se vuelve lateralmente hacia afuera y viene acompañada obligatoriamente de un desplazamiento del eje longitudinal del pie, describiendo un arco que se abre hacia afuera.

La inversión: al contrario de la anterior, la planta del pie se vuelve hacia adentro y el eje longitudinal describe un arco hacia la parte medial.

Estos dos últimos movimientos , eversión e inversión, son compuestos de otros movimientos simples. Estos movimientos son los que se realizan en el eje vertical de la pierna y en el eje longitudinal-horizontal del pie. El eje que queda, el transversal del tobillo, sería sobre el que se realizan los movimientos flexo-extensión.

El eje vertical de la pierna es el que condiciona los movimientos de abducción y de aducción (la punta del pie va hacia fuera o hacia dentro respectivamente). Este movimiento está muy limitado y para realizarlo casi siempre interviene una rotación axial de la rodilla (en flexión) o incluso de la cadera (rodilla extendida). De cualquier forma hay siempre un componente de movilidad que se realiza en la articulación subastragalina. Según Roud el movimiento sólo realizado en el pie, tiene una amplitud de 35° a 45°. Sin embargo con la rodilla flexionada se pueden conseguir (según Fick) 40° de rotación externa y 30° de rotación interna, interviniendo en gran parte los movimientos de abducción y aducción del pie respectivamente. Por último se pueden conseguir desplazamientos de la punta del pie hacia uno

u otro lado de 90° con intervención de la cadera.

En el eje longitudinal se producen movimientos en que el pie gira y orienta la planta del pie, bien hacia dentro, bien hacia afuera. Estos movimientos se denominan de pronación o de supinación por ser análogos a los realizados en la mano. Según Biesalski y Mayer los valores angulares son de 52° para la supinación (planta del pie mira hacia dentro) y de 25° a 30° para la pronación (planta del pie mira hacia fuera).

Como decíamos anteriormente, estos cuatro movimientos descritos de abducción, aducción, supinación y pronación son componentes de la inversión y de la eversión. No es posible realizar por separado y a nivel de la articulación intrínseca del pie, ninguno de los movimientos señalados debido a la disposición de las articulaciones. Si realizamos una aducción, ésta va acompañada necesariamente de una supinación y de una ligera extensión, resultando de los tres el movimiento descrito como inversión. Por el contrario al realizar una abducción, realizaremos también la pronación y la acompañaremos de una ligera flexión, resultando de la eversión del pie .

Existen pues, dos combinaciones de los movimientos de las articulaciones del pie, pero son imposibles de realizar las otras dos pues no se puede combinar una abducción con una supinación, ni una aducción con una pronación.

Dentro de las dos combinaciones realizables que desembocan en la inversión, y en la eversión, pueden darse casos de compensaciones aparentemente ocultas que producen falsos movimientos de supinación y de pronación puros.

Si al realizar la inversión compensamos la aducción producida con una rotación externa a nivel de la articulación de la rodilla y anulamos la extensión con una flexión de tobillo, tenemos una falsa supinación pura.

Por el contrario, si realizamos la eversión y compensamos

la abducción con una rotación interna a nivel de la rodilla, y además hacemos una extensión de tobillo que tape la flexión, obtenemos un movimiento de pronación aparentemente puro.

Ahora paso a realizar una descripción de los movimientos que particularmente realizan los elementos óseos componentes de cada articulación en los movimientos de eversión e inversión ya que estos movimientos producen modificaciones en la bóveda plantar (I.A. Kapandji).

Las superficies de la articulación subastragalina, a grandes rasgos, pueden ser consideradas como dos superficies geométricas: un segmento de cilindro y un segmento de esfera. En conjunto precisamente por la forma en sí de ambas, sería imposible realizar ciertos movimientos sin que una de las superficies quedara separada de su homóloga. Por tanto, es lógico suponer que al constituir entre ambas una artrodia, exista una cierta "holgura" que viene dada por la propia construcción de dicha articulación y que permite así los movimientos propios de una artrodia.

En el movimiento de inversión suponiendo fijo el astrágalo, el extremo anterior del calcáneo realiza un desplazamiento hacia dentro que corresponde a la aducción, un descenso que corresponde a la extensión y una inclinación sobre su cara externa que corresponde a la supinación. Todo esto lo realiza a la vez, es decir que cada movimiento es una componente del movimiento global.

Faraheuf dice que: "El calcáneo cabecea, vira y oscila bajo el astrágalo".

Los ejes de estos tres movimientos tendrán una componente y esta componente será un eje sobre el cual se realiza el movimiento global. Este eje (según Henke) pasa por la parte superinterna del cuello del astrágalo, sigue por el seno del tarso y

sale por la tuberosidad posteroexterna del calcáneo. Por tanto está inclinado de arriba abajo, de dentro a fuera y de delante atrás (este eje fue ya descrito al hablar de la articulación en la parte de la descripción anatómica.

En el movimiento de eversión ocurre lo mismo pero en sentido contrario.

Los movimientos en esta misma articulación y en la mediotarsiana (tomado del Kapandji) al realizar la eversión y la inversión se han averiguado por medio de radiografías tomadas en las posiciones extremas de dichos movimientos. Los huesos que forman las articulaciones son: el astrágalo, el calcáneo, el escafoides y el cuboides. En una vista superior se observa que del paso de la eversión a la inversión se producen los siguientes desplazamientos, estando el astrágalo fijo: a) el escafoides resbala hacia dentro sobre la cabeza astragalina; b) el cuboides realiza el mismo movimiento y se traslada hacia dentro con respecto al calcáneo y escafoides; c) el calcáneo efectúa un ligero avance y gira bajo el astrágalo de la misma forma. Estos movimientos corresponden a la aducción.

En una vista anteroposterior o frontal, el escafoides gira 25° y sobresale un poco más del astrágalo hacia dentro. El cuboides desaparece del todo detrás del calcáneo y efectúa un giro de 18°. El calcáneo se coloca debajo del astrágalo, más hacia dentro y gira 20°. Los giros corresponden al movimiento de la supinación.

Hecha la radiografía desde una vista de perfil, el escafoides se desliza hacia abajo por la cabeza del astrágalo y su cara anterior tiende a mirar hacia abajo. El cuboides también se desliza hacia abajo, pero este desplazamiento es aún mayor que el del escafoides. Efectúa a su vez un giro de 12°. El calcáneo avanza con respecto al astrágalo y efectúa un giro de 12°. Estos giros

están hechos en el sentido de la extensión del pie. (Tomado del Kapandji).

Los movimientos del escafoides y del cuboides son, pues, movimientos de deslizamiento hacia abajo y hacia dentro, y hacia arriba y afueras.

Consideradas las articulaciones posteriores del tarso de una forma global se puede resumir que en el movimiento de inversión se producen los siguientes desplazamientos óseos: el escafoides se desliza sobre la cabeza del astrágalo de fuera a dentro y de arriba abajo, dejando al descubierto la parte superior externa de la cabeza del astrágalo. Para Kapandji es el escafoides quien arrastra al cuboides y éste al calcáneo, mientras que en Anatomía Funcional, de Pérez Casas se describe como un movimiento del calcáneo y al estar el cuboides solidario a él se produce el desplazamiento de éste. De cualquier forma, es el par escafoides-cuboides el que al dirigirse hacia dentro produce el movimiento hacia dentro de la parte anterior del pie. Al mismo tiempo la elevación del cuboides, el descenso del escafoides, al girar alrededor de un eje anteroposterior, produce la supinación.

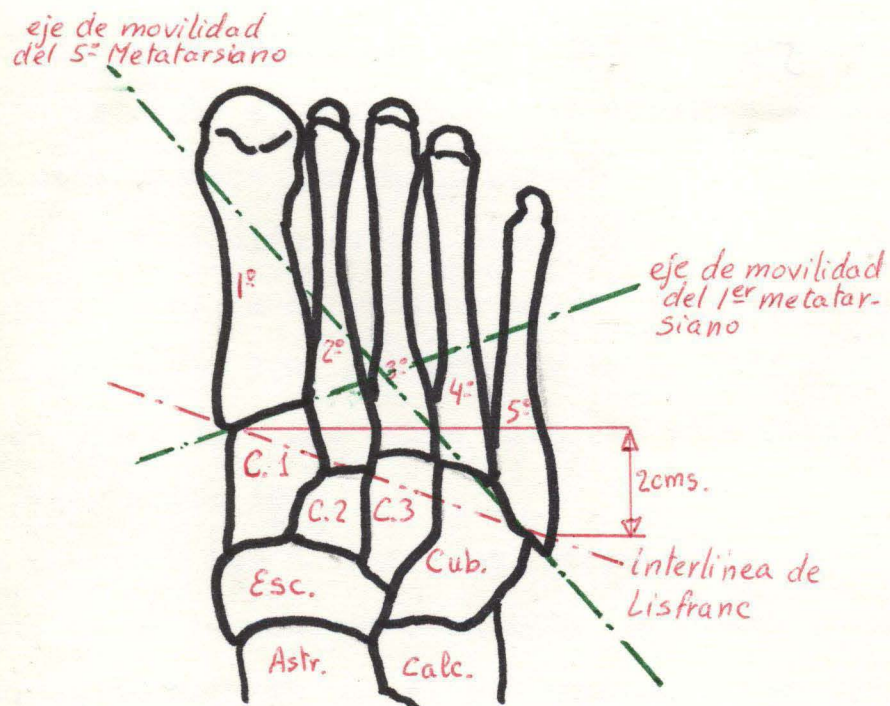
En el movimiento de eversión los movimientos son análogos, pero en sentido inverso. El par escafoides-cuboides es arrastrado hacia afuera y la punta del pie es dirigida hacia fuera y hacia delante. Al mismo tiempo el escafoides desciende y el cuboides asciende, produciéndose el giro que da la pronación.

Los movimientos de las restantes articulaciones del tarso son los que realizan las cuñas con respecto al escafoides y cuboides y las cuñas entre sí. Estas articulaciones son artrodias y realizan movimientos de deslizamiento y de ensanchamiento articular (Kapandji). Son movimientos débiles que modifican la curvatura de la bóveda plantar. Las intercuneanas lo hacen en el sentido transversal en el arco posterior, aunque tienen también ligeros desplazamientos con respecto al escafoides que la modi-

fican en sentido longitudinal.

La articulación tarsometatarsiana está formada por un lado por los cuniformes y el cuboides y por otro por los metatarsianos. Los movimientos que se realizan aquí son de flexión y extensión principalmente, pero recordando la descripción anatómica, vemos que la interlínea de Lisfranc es oblicua de dentro a fuera, de delante a atrás y de arriba a abajo. Esto hace¹ que el eje de movimiento se parezca al anteriormente descrito de Henke, por tanto estos movimientos de flexión y extensión de los metatarsianos colaborarán también en la inversión y eversión del pie. Es muy importante, además, la labor que tiene esta articulación en el mantenimiento y modificación de la bóveda plantar. Atendiendo a la distribución y orientación de las carillas articuladas vemos que el segundo metatarsiano está "amortajado" por los tres cuneiformes de forma que es el que menos movilidad tiene y el que forma la parte más alta de la bóveda plantar. A partir de éste, a uno y otro lado, tenemos al primer metatarsiano cuyas oblicuidad es diferente a los restantes tercero, cuarto y sobre todo quinto metatarsiano. Entonces los ejes de flexión y extensión serán: oblicuo de fuera adentro, de atrás a delante para el quinto y de dentro a fuera y de atrás adelante para el primero. Esto hace que los desplazamientos de estos metatarsianos no se realicen en un plano vertical, sino en una superficie cónica cuyo vértice estaría representado en la parte anterior y central del metatarso. Quiere decir que ambos huesos en sus movimientos se aproximarán al eje longitudinal del pie a la vez que desciendan de su flexión.

Al realizar la flexión se producirá, para el primer metatarsiano, un movimiento de descenso con una componente de abducción. Para Fick esta abducción tiene un valor de 15°. Para el quinto metatarsiano habrá una componente de flexión y otra de aducción.



El eje de flexo-extensión del 1º y 5º metatarsiano no es perpendicular a su eje longitudinal. Sus movimientos no se realizarán en un plano sagital.

Estos movimientos producen un estrechamiento del pie a este nivel y por tanto habrá un aumento del arco anterior transversal de la bóveda plantar.

Los movimientos de las articulaciones metatarso-falángicas e interfalángicas son principalmente de flexión y de extensión. En las metatarsfalángicas se producen ligeras aducciones y abducciones.

Las metatarsfalángicas son articulaciones condíleas. La extensión es mayor a la flexión. Sus movimientos activos pueden ser sobrepasados por mucho por movimientos pasivos. Así tenemos que la extensión activa tiene un valor de 50° a 60° (aunque otros autores la consideran mayor) y la extensión pasiva puede llegar hasta 90°. Sin embargo la flexión activa es de 30° a 40° (de 25° a 35° para otros autores) y la flexión pasiva puede llegar a los 50°.

En cuanto a los movimientos laterales de separación podemos decir que no se le concede demasiada importancia. Debido a la transformación sufrida por el pie humano, estos movimientos son muy limitados y más aún cuando usamos calzado. Se puede apreciar un movimiento más amplio en el dedo gordo, que para algunos autores puede separarse de 15° a 20° del segundo dedo.

Los movimientos de las articulaciones interfalángicas se reducen a la flexión-extensión de los dedos de los pies. La flexión (Daniels) puede alcanzar un valor de 50° a 90° según el dedo que se trate y según que la articulación sea distal o proximal. La extensión es el movimiento inverso.

2.c. El pie como el elemento anatómico funcional más específicamente humano. Su evolución, su estructura y sus funciones

El pie humano ha ~~sidoevolucionando~~ evolucionando a través de toda la historia del hombre. En un principio sus funciones eran mucho más numerosas. Era un pie mucho más ágil, tenía la capacidad de la prehensión, era mucho más hábil y sus movimientos más complejos.

El hombre no tiene adoptada la postura vertical. La teoría de que el hombre fue un primate en tiempos prehistóricos no es ni mucho menos descabellada a mi modo de ver. Estudios realizados en fósiles nos dan interesantes datos de cómo eran los pies. Para Dudley Morton, el pie prehistórico era grande, tenía el dedo gordo separado de los demás y dirigido hacia dentro. El segundo metatarsiano era más grueso, pues era el que hacía más función de apoyo dejando más libre al dedo gordo, que tenía, claro está, el movimiento de oposición.

La evolución siguió adelante y el hombre adoptó la postura bípeda. Con ella vinieron los grandes cambios: rectificación y fortificación de la pierna, desarrollo del glúteo mayor, agrandamiento del cuadriceps crural, modificación de los miembros superiores dedicándose ahora a los movimientos finos y delicados, adaptación de la columna vertebral, etc.

El pie fue cambiando de aquél, grande, prehensil, hábil, a este pie nuestro, con curvaturas, teniendo que soportar el peso del cuerpo, teniendo que ir "apretado" e incómodo por el calzado, teniendo que especializarse para su principal función, la de soporte y la de locomoción.

Vemos, pues, que toda la modificación del pie ha sido necesaria debido al cambio de pronogrado a ortogrado.

Este cambio modificó toda la estática, el equilibrio era

importantísimo y todos los segmentos del cuerpo deberían estar en una vigilancia constante. El pie, como base de este cuerpo erguido, tuvo que modificarse y especializarse en sumo grado. De ahí que Jones Frederic Wood lo considere como la parte más típicamente humana de la anatomía del hombre, para él es el signo distintivo de los demás miembros del reino animal.

Según Keith, el cambio de postura produjo una modificación en la trayectoria e inserción de algunos músculos. Tomemos por ejemplo al plantar delgado que en la mayoría de los animales mamíferos acciona sobre los dedos del miembro posterior, sin embargo, en el hombre es un músculo vestigial, o por el contrario, el soleo que en los mamíferos actúa sobre los tobillos y es pequeño y débil, en el hombre es más bien potente y grande. Keith cree que los músculos al tirar del calcáneo, lo inclinan hacia atrás y abajo, curvándole ligeramente.

El calcáneo, a su vez, se ha desarrollado para poder soportar el peso que sobre él recae. Las articulaciones intermetatarsianas se han adaptado para realizar esa función de amoldamiento en las diferentes movimientos del pie. Las articulaciones interfalángicas han quedado muy reducidas y sus movimientos son muy limitados.

Hemos llegado a un pie más rígido, con una estructura más especializada, con unos movimientos muy torpes, pero sin embargo hemos conseguido una funcionalidad extraordinaria y una adaptación a las necesidades actuales que hacen importantísimo el buen funcionamiento de este miembro especializado.

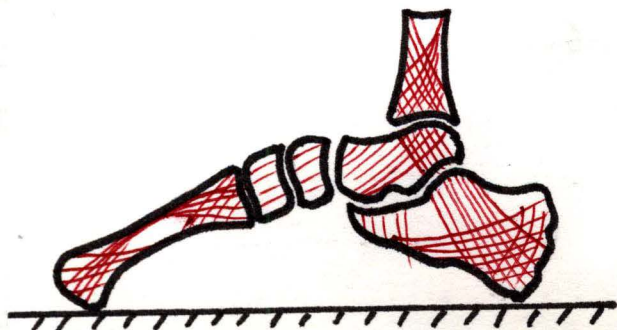
No podemos descuidar el funcionalismo de este pie. El hombre de ciudad, la vida moderna, las comodidades, los transportes actuales, el calzado constante, los largos períodos de posturas estáticas, etc..., todo hace que este pie no tenga que esforzarse, que su adaptación no tenga que funcionar y a la larga, los músculos encargados de este equilibrio se atrofian y el pie

pierde sus principales virtudes, llegando a constituirse un pie plano o cualquier otro tipo de pie patológico. Esta "evolución" que produce la civilización puede llegar a ser peligrosa y ya hay algunos antropólogos que se atreven a predecir lo que ocurrirá en tiempos futuros no muy lejanos debido a este sedentarismo: "El hombre llegará a caminar sobre pies reducidos y atrofiados de tal forma que parecerán muñones". Parece en principio una teoría descabellada, pero está basada en la evolución que ha habido hasta ahora y en la atrofia que existe en ciertas partes del pie que, sin embargo aún se conservan en los monos: el movimiento de oposición del dedo gordo y la atrofia de los restantes dedos puede ser un ejemplo.

El pie queda entonces estructurado como un sistema de palancas cuyo juego permite llevar a cabo las funciones necesarias para nuestra vida cotidiana. La carga impuesta por el peso del cuerpo se distribuye por los distintos elementos del pie. El punto de partida lo constituye el astrágalo que por medio de la articulación tibiotalar inferior. Desde aquí la carga se divide en tres direcciones que van hacia los puntos de apoyo inmediatos (que veremos más adelante).

Para mejor comprensión del problema deberemos estudiar antes la estructura interna de los huesos del pie.

Como huesos cortos que son están formados por un tejido esponjoso en forma de trama y revestido de una capa cortical periférica y compacta. La trama del tejido esponjoso está orientada de forma que sus láminas colaboren a esa distribución de cargas.



.-Disposición de las trabéculas óseas de los huesos del pie.

La arquitectura o estructura interna del astrágalo está formada por unos refuerzos existentes en la capa ósea periférica y una cierta disposición de las tra-

béculas del tejido esponjoso. En la sustancia compacta tenemos ciertos refuerzos que son base de partida de los sistemas trabeculares, troclear anterior y troclear posterior, como principales, y los sistemas en doble abanico de la cabeza o sistema de Guernier y Marchal y el fascículo astragalino del sustentaculum como accesorios.

El sistema trabecular trapezario anterior está formado por láminas oblicuas de arriba abajo y de atrás adelante cóncavas en sentido anteroposterior continuándose con los sistemas homólogos del escafoides, cuñas y tres primeros metatarsianos.

El sistema troclear posterior es mayor que el anterior y su disposición es análoga, pero va dirigido hacia atrás y se constituía con el sistema talámico del calcáneo.

Estos sistemas permiten que la carga se dirija a las direcciones antes indicadas.

Los sistemas accesorios son refuerzos o trabéculas que convergen en la cabeza del astrágalo.

El sistema en doble abanico lo hace desde las caras inferior y superior del cuello y el fascículo astragalino desde la carilla articular media.

El calcáneo, como el hueso anterior, tiene refuerzos en su capa periférica.

Estos refuerzos o engrosamientos son numerosos y más importantes que en el astrágalo. Reciben diferentes nombres y podemos distinguir la lámina posterior a nivel de la carita articular astragalina posterior. La lámina infrasinusal en el surco del tarso. La lámina cuboidea situada en la superficie articular cuboidea. La lámina compacta plantar en su cara plantar y la lámina compacta del talón en la tuberosidad en su porción posterior.

En cuanto a la estructura del tejido esponjoso se han hecho muchísimas para analizando los distintos sistemas. Para Gómez

Oliveros se pueden distinguir cinco:

Sistema talámico, es un conjunto de láminas que partiendo de la lámina talónica compacta se abre en abanico hacia toda la tuberosidad. Por este sistema se transmite al suelo el peso del cuerpo.

Sistema apofisario o sinusal que parte de la lámina compacta infrasinusal, se abre en abanico hacia delante y termina en la lámina compacta cuboide y en el tubérculo calcáneo anterior, sistemas plantares anteriores y posteriores, parten ambos de la lámina compacta plantar. La anterior se dirige hacia delante y arriba y termina en la mitad inferior de la superficie articular cuboide. La posterior, más desarrollada que en anterior, se abre en abanico hacia arriba y atrás terminando en la lámina compacta de la cara posterior y parte posterior de la cara superior del calcáneo.

Por último el sistema del talón son láminas paralelas a la compacta de este mismo nombre.

En cuanto a la estructura del escafoides, cuñas y metatarsianos, se puede decir que no presenta nada especial. Son láminas que continúan los sistemas de los huesos anteriores. Los metatarsianos tienen en su extremo distal un sistema ojival y las falanges están estructuradas como huesos largos con tejido esponjoso en las extremidades.

Por la distribución de las láminas recién descritas (Fig. 5) comprendemos fácilmente cómo ese peso del cuerpo es repartido por los huesos del pie. La componente posterior es la que recibe una mayor parte del peso. Más adelante, en la descripción de la bóveda plantar hablaremos de nuevo de esta distribución de cargas.

Esta estructuración y su funcionalidad, permiten, al pie, realizar varios cometidos importantísimos y necesarios para el desenvolvimiento del hombre en sus diversas actividades. Para Bach el pie realiza el trabajo más extraordinario de todos los que pue-

da hacer el hombre, no sólo soporta un peso grande (que costaría mucho trabajo mantener con la mano), sino que, además, es capaz de pasarlo a uno y otro pie apenas sin esfuerzo, e incluso es capaz de impulsarlo hacia arriba y soportarlo después en la caída, de un gran salto. El mismo autor añade que, desde luego, se producirían grandes lesiones si hiciésemos caer sobre un pie un peso equivalente al que él mismo es capaz de lanzar y soportar.

Son, por supuesto, comparaciones que no equivalen del todo a la realidad, pero es precisamente esa especial distribución y esa especial constitución las que hacen que no ocurra lo que ocurriría en dichas comparaciones. Está, en una palabra, "especializado". Es un órgano destinado por un lado a soportar el peso del cuerpo en la mayor parte del tiempo de la vida de un hombre: función de soporte. Por otro lado, a realizar los movimientos necesarios para producir el desplazamiento: función propulsora.

Todas las funciones que realiza el pie, marcha, carrera, salto, caída, etc., se pueden reducir a estas dos: soporte y propulsión. Con la función de soporte hace que podamos estar en nuestra posición erecta, nos permite estar parados de pie, o en desplazamiento, podemos permanecer sobre ellos largo rato gracias a que contrarresta las presiones y tensiones producidas. Por otro lado, con la función de propulsión produce la elevación y el desplazamiento de nuestro cuerpo en menor o mayor escala. Nos permite así realizar saltos, marchas y carreras.

Naturalmente existe otra función, que se la puede considerar dentro de las dos mencionadas, que es la de amortiguar y contrarrestar el peso que sobre él recae al finalizar estos saltos y estas carreras.

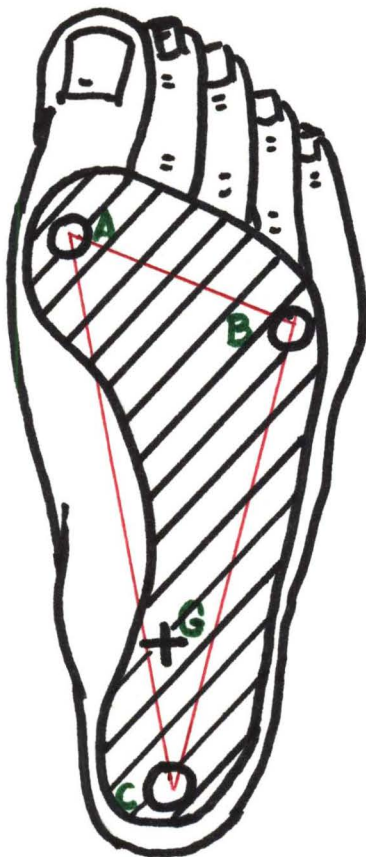
Estas dos funciones principales que realiza el pie constituyen las dos capitales llamadas "Estática del pie" y "Dinámica del pie". En ellos se estudian esas funciones de soporte y de pro-

2. d. Estática y dinámica del pie

Para Rudolph Virchow el pie humano es un órgano trepador transformado por las necesidades imperiosas en la evolución del ser humano. Una de estas necesidades, quizás la más importante, es la de la adopción de la postura erecta.

El ser humano al adoptar esta postura, carga todo su peso en los pies y éstos realizan la gran función de soporte.

El pie en contacto con el suelo tiene tres puntos de apoyo principales. Si bien el resto también toca el suelo, son estos tres puntos los que más presión reciben.



Pié visto desde arriba. Por transparencia se vé:
A, B, C, puntos de apoyo.
G, punto donde cae el peso.
Zona rayada: huella plantar.
Triángulo de apoyo.

Apoyo posterior: tuberosidad del calcáneo. Apoyo antero-interno: cabeza del primer metatarsiano.

Apoyo antero externo: cabeza del quinto metatarsiano.

Con esto ya vams viendo que no se tratade una superficie plana, sino que la plantadel pie presenta una serie de curvaturas o arcos. Estas curvaturas forman una bóveda, "la bóveda plantar", que estudiaremos con detenimiento más adelante.

La función de sostén del cuerpo lo realiza el pie gracias a ésta bóveda. Existen otros factores que también colaboran, como son el aumento en tamaño del calcáneo para poseer una base fuerte y firme, y una exteriorización

del astrágalo con objeto de transmitir mejor las presiones del cuerpo hacia el antepié.

La huella de un piemojado o manchado de polvo fino se presenta con una forma alargada en la que no distinguimos esos puntos de apoyo antes descritos. Esto es debido a que se trata de un apoyo óseo "inmediato" y la huella es el apoyo "mediato". De cualquier forma podemos distinguir dos puntos principales: uno anterior y otro posterior. El anterior está formado por una banda transversal ancha, en la que están incluidos los apoyos anterointerno y anteroexterno, y se denomina talón anterior.

El punto de apoyo posterior se denomina talón posterior. Uniendo los tres puntos de apoyo descritos se forma un triángulo de base anterior, éste se denomina "triángulo de apoyo del pie" (Fig. 7). Tanto la línea de gravedad como la línea de fuerza que baja por la pierna caen dentro de este triángulo en su zona posterior. Cuando existen anomalías en el pie (pie plano valgo) o se halla éste en posición valgo, estas líneas caen fuera de este triángulo por su lado interno.

Según Destot, "el astrágalo, colocado entre el pilón tibial y los huesos del pie, es el distribuidor que transmite el peso del cuerpo y lo reparte de manera diferente entre la función plantigrada y la función digitigrada".

Sin embargo el centro de presiones recae sobre la vertiente externa de la polea astragalina y no sobre su centro (Destot). La carga se transmite al astrágalo por detrás del eje de rotación del pie y por fuera del eje longitudinal de la pierna. Este punto de presiones es el formado por el eje transversal de la mortaja, el eje longitudinal del astrágalo y el eje longitudinal del calcáneo. Esta especial distribución tiene por finalidad mantener el equilibrio transversal del astrágalo.

A partir de este punto las presiones divergen hacia atrás, talón posterior y hacia delante, talón anterior.

Los trabajos realizados por Dudley Nirtton por medio de un aparato llamado "Sstaticoometer" que emplea dinamómetros que registran la presión de los puntos de apoyo, nos indican que en individuos con pies normales el peso que recae sobre cada pie (la mitad del peso corporal) se reparte en dos mitades. Una mitad hacia el talón y otra hacia el antepié, repartiéndose ésta por igual entre cada metatarsiano menos en el primero que recibe doble que los demás.

Si suponemos un individuo de 60 kgs., serían 30 Kgs. para cada pie, de los cuales, 15 van al talón posterior, 5 kgs. al primer metatarsiano y 2,5 kgs. para los restantes.

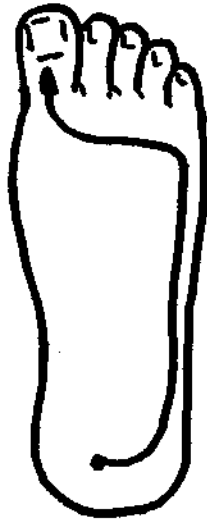
Otros autores, sin embargo, discrepan algo de estas cantidades. Padovani dice que es necesario un tacón de dos centímetros para que la carga se reparta por igual pero en posición plantígrada es un 56% del peso el que se dirige hacia atrás.

Por otro lado Pietrogrande hace alusión a la gran variabilidad de la carga. Esta hace que exista una gran vigilancia muscular. El pie puede pasar de no tener que soportar nada de peso a tenerlo que soportar todo e incluso multiplicado por dos o más en el momento de la carrera o el salto.

El reparto de presiones varía también con la posición del pie. Podemos llegar a tener que soportarlo todo por el talón posterior cuando el pie está en talus, o bien soportarlo todo en el talón anterior si está en equino. Dentro de estos límites existen muchas posiciones.

Todas estas posiciones y otras llevan a cabo durante la marcha. Aquí el peso va pasando desde el talón posterior por el borde externo de la planta, cruza por la cabeza de los meta-

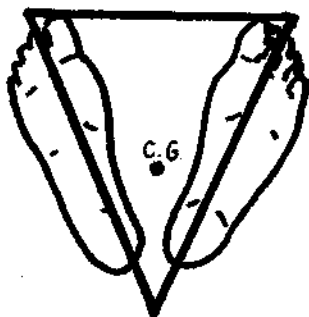
tarsianos y llega al primero que se levanta ayudado por los restantes en el último momento.



.-El peso del cuerpo durante la marcha va desde el talón al dedo gordo, pasando por el borde externo y cabezas metatarsianas.

Dos españoles, Arandes y Viladot, han colaborado en este problema de la distribución del peso corporal en el pie. Por medio de radiografías y cálculos mecánicos han llegado a la conclusión de que un 75% del peso recae sobre el talón posterior y el 25% restante va al antepié. De este 25% un tercio recae sobre el primer metatarsiano y el resto se reparte entre los restantes a partes iguales.

Considerando ahora los dos pies en conjunto, tenemos el llamado "triángulo de sustentación". Estando el individuo en posición erecta, la posición más cómoda es aquella en que



.-Triángulo de sustentación.

los talones están separados entre sí unos diez centímetros y los ejes longitudinales de los pies forman un ángulo de 30 a 40° abierto hacia delante. Así colocado, la anchura de la base o área ocupada por los pies es igual a su longitud y es la posición que nos proporciona una mayor estabi-

lidad lateral. Si unimos con una línea transversal los extremos distales de los dedos gruesos, obtenemos una figura geométrica de forma triangular llamada "triángulo de sustentación". Para tener asegurado nuestro equilibrio es necesario que la proyección del centro de gravedad caiga dentro de este triángulo.

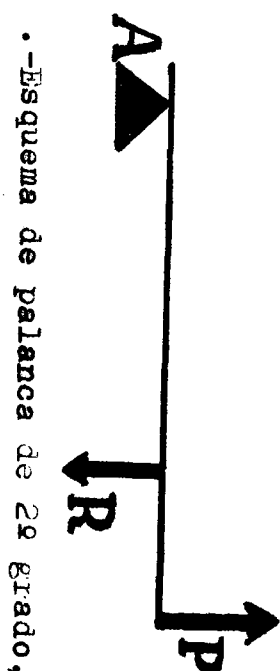
Cuando las condiciones de juego o de actividad física requieren un mayor equilibrio, aumentamos casi inconscientemente este triángulo separando los pies y obteniendo así una mayor estabilidad. Si por el contrario disminuimos esta base, necesitaremos una mayor atención para mantenernos en equilibrio.

Esta función de soporte, estática, está íntimamente unida, relacionada, con su esqueleto. Por sí solo no sería capaz de llevarla a cabo tan maravillosamente, pero por su disposición de elementos sueltos y por la colaboración de los ligamentos, permite obtener esa solidez y, a la vez, esa flexibilidad que consiguen hacerlo tan extremadamente funcional.

La movilidad del pie no es muy grande como hemos podido ver en capítulos anteriores. Sin embargo, es la movilidad necesaria para realizar todo lo que necesitamos. Con una simple flexión plantar elevamos nuestro cuerpo varios centímetros sobre el suelo. Somos capaces de correr, saltar por terrenos desigual y el pie siempre encuentra postura adecuada y su adaptación es segura. Nos permite amortiguar caídas desde alturas respetables. Todo para el pie parece fácil y ni siquiera nos ocupamos de él cuando vamos corriendo o saltando. No nos damos cuenta de los kilos que está soportando constantemente. Solamente caemos en la cuenta cuando una pequeña distensión, una descordinación de movimientos, rompen esa armonía y nos producen un malestar, nos quedamos inválidos, necesitamos ayuda de otro apoyo, un amigo, un compañero, un bastón. Entonces es cuando vemos verdaderamente la función que realiza.

Hay un movimiento que es básico para llevar a cabo el salto, la marcha y la carrera. Es el movimiento de flexión plantar, por el cual nos ponemos de "puntillas". Actuando así el pie lo podemos comparar perfectamente a una palanca de segundo grado.

En toda palanca mecánica existe un punto de apoyo, una resistencia y una fuerza. Un señor llevando una carretilla va utilizando una palanca de segundo grado. El punto de apoyo es la rueda, la resistencia es la carga que quiere transportar, arena, piedras o lo que sea. La fuerza es la que él hace en el extremo de los mangos de la carretilla. En este caso vemos que



el punto de apoyo está en un extremo y la fuerza en otro, quedando en medio el peso. Los vectores de la fuerza y de la resistencia están orientados en sentido contrario. La mecánica dice que la distancia entre el punto de apoyo y la resistencia se llama "brazo de resistencia", mientras que la separa el punto de apoyo de la fuerza ejercida se llama "brazo de potencia o de fuerza". Existe una relación entre estos dos brazos y la efectividad de una palanca depende

precisamente de dicha relación. Llamando R a la resistencia, P al peso y A al punto de apoyo se cumple la siguiente igualdad:

$$P \times \overline{PA} = R \times \overline{AR}$$

La efectividad de la palanca variará con las magnitudes de sus brazos de palanca y resistencia. Una palanca que su brazo de resistencia sea corto y su brazo de potencia muy largo, será capaz de desarrollar una gran fuerza de una forma lenta y con poco esfuerzo. Si por el contrario su brazo de palanca es largo y corto el de potencia, los resultados serán que aumenta enormemente la velocidad y requerirá un esfuerzo mayor, pudiendo movilizar menos peso. Esto se explica por el hecho de que una palanca que gira en su punto de apoyo hace que todos sus puntos describan un arco de circunferencia que será mayor a medida que esté más alejado del eje. Como todos los puntos

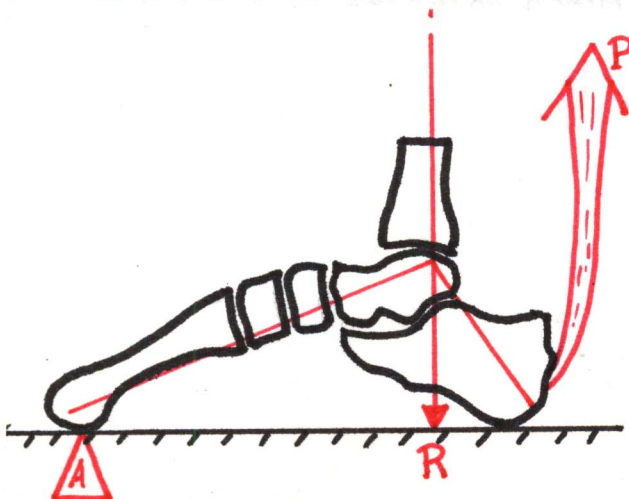
recorren su espadio en el mismo tiempo, quiere decir que la velocidad será mayor mientras más lejos esté el punto del eje de giro. Por esto, desde un punto de vista puramente mecánico, las raquetas de frontón, de tenis, de ping-pong, etc., no son otra cosa que un alargamiento del brazo de resistencia para imprimir al extremo una mayor velocidad.

En el caso del pie, tenemos un punto de apoyo que son las cabezas de los metatarsianos, tenemos una resistencia que es el peso del cuerpo, y tenemos la fuerza que es la que ejerce el triceps sural sobre el calcáneo. En esta palanca el brazo de resistencia o palanca es más corto que el de potencia o fuerza. Esto implica un menor esfuerzo por medio del triceps y un mayor rendimiento en su trabajo aunque esto vaya en perjuicio de la velocidad.

Además, el triceps es uno de los músculos más potentes del organismo. De esta forma podemos conseguir con facilidad un salto, una carrera, etc.

Sin embargo hemos hablado de un pie considerado como un todorígido y en realidad no ocurre así. Sabemos que el pie está constituido por elementos óseos unidos por ligamentos y posee una gran elasticidad que permite su adaptación modificando sus curvaturas y su arco plantar.

Para que el pie actúe como palanca es necesario que entren en acción otros músculos. El triceps sural está poten-



temente dotado además de su situación privilegiada, esto es debido a la importancia de este músculo en la marcha, carrera, etc. Son menos potentes pero son ellos los que hacen rígido el pie, los que adaptan el pie al suelo y los que dosifican la acción de los

.-El pie se comporta como una palanca de 2º grado.

flexores plantares. Aunque son estos músculos los principales motores en potencia, debemos considerar el pie como un conjunto funcional que adquiere un índice grande de rendimiento gracias a la armonía y la gran coordinación de todos sus elementos.

En capítulos anteriores he analizado los movimientos que realiza el pie a nivel de sus articulaciones. Ahora me resta analizar estos movimientos en relación con los músculos que los llevan a efecto.

En reglas generales podemos deducir que en los movimientos del pie a nivel de la articulación del tobillo, todos los músculos cuyos tendones pasan por delante del eje de la peroneo-tibia-astragalina y por delante de la componente transversal del eje oblicuo de las subastragalinas, realizarán movimientos de flexión dorsal. Por el contrario, los que pasan por detrás de dichos ejes realizarán flexiones plantares.

Los músculos que realizan la flexión dorsal son el tibial anterior, extensor propio del dedo grueso, el peroneo anterior y el extensor común de los dedos. Pero no actúan de la misma forma ya que tienen componentes de otros movimientos. Según pasen por el lado interno o externo de un eje longitudinal tendrán componentes de aducción-abducción y de pronación-supinación. Así el tibial anterior y el exterior propio del dedo grueso serán además de flexores, aductores y supinadores. Mientras que el exterior común de los dedos y el peroneo anterior serán también flexores, pero además abductores y pronadores. Estos músculos deberán actuar de una forma antagonista-sinergista si queremos una flexión dorsal.

En la flexión plantar tenemos como músculo principal al triceps sural y como accesorios otros cinco músculos. Según pasen por fuera o por dentro del eje longitudinal serán abductores-supinadores o abductores-pronadores. En el primer grupo están el tibial posterior, el flexor común de los dedos

y el flexor propio del dedo gordo que pasan por el lado interno del eje longitudinal. En el otro grupo, que pasa por fuera de dicho eje, tenemos los peroneos laterales corto y largo. Existen dos músculos que realizan la flexión plantar y la flexión dorsal según sea la posición del pie (Pérez Casas). Estos músculos, el peroneo lateral corto y el tibial posterior. Son músculos que tienen por misión fundamental el mantener el pie en posición intermedia ya que llevan al pie a la posición de ángulo recto cuando está en posición de flexión plantar o de flexión dorsal. La acción sinérgica de estos músculos es muy importante para el equilibrio lateral durante la marcha y para la buena estática del pie.

Para que se realicen estos movimientos de flexo-extensión puros es necesario que actúen sinérgicamente ambos grupos de músculos externos e internos. Cuando falta alguno de ellos por parálisis, se puede seguir realizando la flexión pero tendrá una componente de rotación hacia uno u otro lado. Por ejemplo, en la flexión plantar el tríceps sural realiza una acción que está compensada por el peroneo lateral largo, ya que, si por parálisis de éste, realizamos la flexión plantar sólo con el tríceps, irá acompañada éste de una posición rara del pie. Esto es debido a que el peroneo actúa en la flexión plantar por el borde interno del pie y compensa así la acción del tríceps.

El movimiento de abducción pronación los realizaremos por medio de los peroneos laterales, que como hemos visto son también extensores.

El corte es el que tiene la menor componente de abducción e incluso para Duchenne de Boulogne es el único abductor directo. Participa también en la pronación ayudado por el peroneo anterior y por el extensor común de los dedos.

El peroneo lateral largo es también abductor-pronador y extensor. La componente de abducción es mucho menos que la del corto y la pronación se lleva a cabo al contraerse el músculo tomando como apoyo el borde externo del pie. De esta forma deprime la cabeza del quinto metatarsiano produciendo un giro sobre el eje longitudinal del pie.

Los músculos aductores-supinadores son los tibiales anterior y posterior y el extensor propio del dedo gordo. El posterior es muy aproximador y poco supinador (Duchenne). Es el antagonista del peroneo lateral corto y en acción sinergista, como hemos visto antes, mantienen el pie en ángulo recto.

El tibial anterior es más supinador que aductor, es antagonista del peroneo lateral largo. Actuando sinérgicamente con el tibial posterior producen una aducción-supinación pura sin flexión ni extensión.

El extensor propio del dedo gordo es también aductor-supinador pero más débil que los anteriores.

Los músculos flexores plantares son capaces de desarrollar una fuerza mucho mayor que los flexores dorsales. Los distintos autores han dado diferentes cifras que pueden o no coincidir, pero lo cierto es que existe una desproporción bastante grande. Existe también diferencia entre los supinadores y los pronadores. Los supinadores tiene doble potencia que los pronadores y lógicamente ha de ser para compensar la tendencia a la pronación del pie apoyado en el suelo y con el peso corporal encima.

2. e. Descripción de la bóveda plantar

Hemos visto que el pie realiza el apoyo en el suelo por medio de tres puntos principales. No quiere decir que sólo toque con estos tres puntos, pero sí que son ellos los que más presión reciben y transmiten.

La planta del pie no es plana ni mucho menos y en el vivo se vé claramente una estructura abovedada. Esta bóveda está formada por una serie de arcos que enlazan entre sí los tres puntos de apoyo citados.

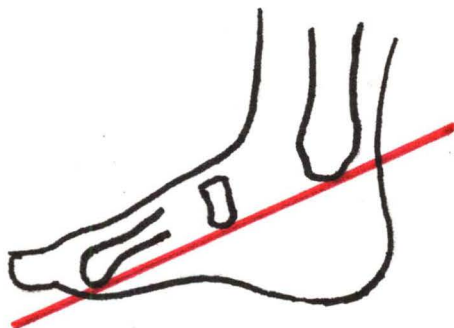
El arco que va de la cabeza del primer metatarsiano a la tuberosidad del calcáneo es el llamado arco longitudinal interno. Es un arco largo y flexible y lo forman los tres primeros metatarsianos, las tres cuñas, el escafoides y el calcáneo. Tiene su punto más alto en el escafoides, hueso que actúa como "clave" de la bóveda. (Ciertos autores opinan que la clave es la cabeza astragalina). Los huesos que están por delante del escafoides forman el pilar anterior (tres primeros metatarsianos, tres cuñas y el escafoides), mientras que el calcáneo forma el pilar posterior.

El astrágalo es un hueso dudoso en cuanto a que forme o no parte de dicho arco longitudinal. Sin embargo la mayoría opinan que es un hueso situado fuera de la estructura abovedada y que está destinado a la distribución de la carga a los demás huesos. Para Destot es un hueso que se halla situado en "superestructura" (tomado del Pérez Casas). Podríamos decir que está "encima" de la bóveda. El astrágalo es el único hueso del pie que no presta ni origen ni inserción a ningún músculo. Al recibir el peso del cuerpo, empuja hacia delante al hueso escafoides a separarlo del calcáneo. El ligamento glenoideo de Farabeuf (ligamento calcáneo-escafoideo) es el que impide que este hueso escafoides se separe del calcáneo. Este ligamento es importantísimo para el sostenimiento de este arco y muy

justamente se le he denominado "ligamento resorte". Otro ligamento muy importante es el lateral interno de la articulación tibio-tarsiana, que evita el basculamiento del escafoides y el astrágalo hacia dentro, colaborando de esta forma al mantenimiento del arco interno. Más adelante veremos otros factores-óseos, musculares y ligamentosos- que ayudan al mantenimiento de la bóveda.

El arco interno es el resorte de la bóveda, actúa como las balistas de los coches. Es flexible y posee una gran movilidad. Todo esto se mantiene gracias a esos ligamentos y a esos músculos y cuando alguno falla se produce un derrumbamiento. Como quiera que los huesos están tan íntimamente ligados, bastaría con que uno solo de ellos cambiara de posición para que toda la bóveda sufriera una modificación.

Para comprobar la buena disposición de este arco, existe la llamada línea de Feiss. Esta línea va desde la cara plantar de la cabeza del primer metatarsiano al vértice del maléolo tibial. El tubérculo del escafoides debe hallarse por encima de dicha línea.



.-Línea de Feiss.

Existe también una medida de dicho arco. Este tubérculo debe hallarse a una distancia del suelo de 15 a 18 mm.

Por otro lado existe una relación entre dicha altura y la longitud de la bóveda (distancia del talón a la cabeza del primer metatarsiano) de 10 a 3. Para Bregard (tomado del Pérez Casas)

un aumento de este cociente es signo de pie plano y una disminución de pie excavado.

El arco que va de la cabeza del quinto metatarsiano a la tuberosidad del calcáneo es el arco longitudinal externo. Es un arco más corto y más bajo que el anterior y lo forman los dos últimos metatarsianos, el cuboide y el calcáneo se llama arco sustentador y es el que forma la parte exterior de la planta del pie. La clave aquí es el hueso cuboide y la altura máxima o flecha es de 3 a 5 mm. A diferencia del arco interno, las partes blandas toman contacto con el suelo. Es un arco más rígido debido a su menor longitud, a su poca altura y sobre todo a potentes ligamentos que le sujetan, como el calcáneo-cuboideo plantar que impide la separación de estos dos huesos.

Hay autores que opinan que la clave está situada en la articulación calcánea o más exactamente en la apófisis mayor del calcáneo.

El peso se transmite por medio de la articulación astragalo-calcánea posterior y se reparte por medio de las trabéculas óseas ya estudiadas. La carga que recibe este arco es mayor, por eso se le puede considerar como el arco sustentador. Es el que recibe la mayor parte de la carga.

Estos dos arcos descritos actúan a manera de un muelle sustentador. Los dos se dirigen de delante atrás convergiendo en la tuberosidad del calcáneo. Los arcos de este tipo, cuando reciben una carga, sufren una compresión en las partículas del lado convexo y una distensión en el lado concavo. Cuando el peso cede, el arco retorna a la posición inicial. En los arcos que tratamos ocurre exactamente lo mismo. Si colocamos un tirante que fuera desde la parte anterior a la posterior de forma que quedara completamente fijado y además no se estirara nada en absoluto, en el momento que cargáramos el pie con el peso del cuerpo, este tirante (poco resistente) se rompería, lo que demuestra que la longitud del pie varía de estar

en reposo a estar cargado. Además, se produce una disminución de la altura del arco.

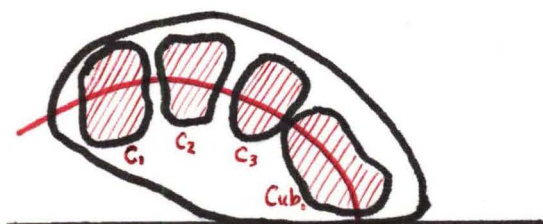
Esta función la realiza el pie gracias a los músculos y los ligamentos. Son éstos, los ligamentos, los que realizan la principal tarea y los músculos están a la espera para actuar en los casos de sobrecarga. Los trabajos electromiográficos realizados por Basmajian demuestran que es a partir de los 200 Kgs. cuando actúan los músculos y que pesos de 50 a 100 Kgs. son soportados con facilidad por los elementos pasivos.

Cuando cargamos el pie, es el arco interno el que más se deforma y permite que el pie siga teniendo elasticidad, mientras que el cerco externo es el que recibe más cantidad de peso, es el soporte duro y rígido del pie.

El hecho de que estos dos arcos recaigan sobre el calcáneo nos dice la importancia que adquiere éste dentro de la arquitectura del pie. Este hueso se apoya en el suelo por medio de las tuberosidades y su cara inferior está inclinada de delante atrás y de arriba abajo. Forma entonces un ángulo con el plano del suelo abierto hacia delante que oscila entre los 20° y 40°. Cuando disminuye éste, la parte anterior del hueso descende y en consecuencia arrastra al cuboides, a la cabeza del astrágalo y al escafoides que irá con ella. El resultado es una disminución de la altura de los arcos longitudinales y un alargamiento del pie.

Esto ocurre, en mayor o menor escala, cada vez que el pie recibe una carga y gracias a las propiedades de los elementos constituyentes se vuelve a recuperar al cesar dicha carga. Solo en el caso de que esto no ocurra tenemos el pie plano, además, en este caso, el descenso de estos huesos será mayor que en los casos normales y el ángulo antes señalado me-

dirá menos de 20°. La bóveda plantar es también curva en sentido transversal. Se pueden distinguir tres arcos transversales. A nivel de la región tarsometatarsiana es innegable la existencia de dicho arco. Está formado por el cuboides y las tres cuñas. Tiene solamente un apoyo en el cuboides. Un factor importante que colabora en dar solidez a este arco es el ensamblamiento de la línea articular de tarso y metatarso.

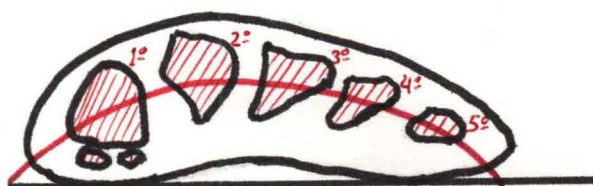


.-Arco transversal medio.

La primera cuña está en suspensión y no se apoya con el el suelo. La segunda cuña es la clave del arco y es el punto más alto de la bóveda. Prolongado este hueso con el segundo metatarsiano obtenemos el eje longitudinal del pie.

Hay autores que afirman la existencia de un arco formado por el escafoides y el cuboides; tiene la misma disposición que el descrito anteriormente, apoyándose también en el cuboides. Las expansiones plantares del tibial posterior son las responsables de mantener la curvatura de este arco

El arco anterior es el más discutido de todos los descritos hasta ahora.



.-Arco transversal anterior.

Kapandji en su libro "Cuadernos de Fisiología Articular", lo describe más o menos detalladamente y no niega de ninguna forma su existencia. Para este autor es un arco que se tiende desde la cabeza del primer metatarsiano a la del quinto, siendo estos los dos puntos de apoyo.

Las cabezas de los metatarsianos intermedios forman el arco. La cabeza del segundo es la más elevada (9 mm) y forma la clave del arco, la tercera y cuarta descienden progresivamente hasta la del quinto que se halla a 6 mm del suelo al igual que la primera. El apoyo se realiza a través de las partes blandas y la concavidad del arco es poco acentuada. Un músculo, el fascículo transversal del abductor del dedo gordo, es el que mantiene dicho arco enviando porciones musculares desde el metatarsiano al resto, segundo, tercero, cuarto y quinto.

Para Pérez Casas, sin embargo, es un arco que existe solo cuando el pie está descargado. No coincide este autor con Karpandji al decir que la clave se halla en el tercer metatarsiano. Para éste es un resorte que existe en el pie péndulo pero no en el pie apoyado. Al realizarse el apoyo, los metatarsianos, segundo, tercero y cuarto descienden y toman contacto en el suelo a través de las capas blandas. En el caso de que esto ocurra se nos presenta un pie con hundimiento del tercer metatarsiano y a menudo con callosidades dolorosas debido a las fuertes presiones que ejerce la cabeza de este hueso sobre las partes blandas. Este es un hecho que habla en favor de la existencia de dicho arco.

Una opinión muy distinta es la de Hoffa (tomado de J. Lelievre y de Pérez Casas) que dice que el apoyo anterior se realiza principalmente en las cabezas de los metatarsianos intermedios.

También discrepa Horton al decir que el apoyo se realiza por igual en los cuatro últimos metatarsianos al formar éstos un plano horizontal y no arqueado.

Hay otros muchos autores que, al igual que los anteriores, niegan la existencia de este arco. Sin embargo existen varias pruebas que demuestran, según J. Lelievre en su libro Patología del pie, su existencia.

1) Farabeuf ha demostrado que la cara plantar del primero y quinto metatarsianos es más amplia que la de los restantes.

2) Lenoir encuentra una bolsa serosa debajo de las cabezas primera y quinta y debajo del calcáneo, identificando con ellas los puntos de apoyo inmediatos.

3) Maffei insiste sobre los medios lujosos previstos por la naturaleza para preservar la curvatura anterior, como son el ligamento transverso del metatarso, ligamento intermetatarsiano, músculos interóseos plantares, peroneo lateral largo, y el abductor transverso del dedo gordo como medio principal de sostenimiento.

4) Clínicamente se sabe que el hundimiento del cerco anterior trae como consecuencia la aparición de un callo doloroso bajo la cabeza del segundo o tercer metatarsiano.

5) Según este autor parece que existe una confusión en cuanto a terminología se refiere. No se trata, pues, de un arco arquitectónico fijo, es un resorte transversal formado por las cabezas metatarsianas unidas por un ligamento que sostiene a unos músculos. Sobre este resorte actúan otros cinco resortes anteroposteriores que son las diafosis metatarsianas. Estos radios metatarsianos forman un ángulo con el plano del suelo. Fick los ha valorado y obtiene para el primer metatarsiano de 18 a 25°. A continuación va disminuyendo progresivamente para los restantes: 15° para el segundo, 10° para el tercero, 8° para el cuarto y 5° para el quinto.

6) Por último LeVieuvre dicta unas condiciones indispensables para que exista arco transversal: "es necesario que este arco anterior esté netamente individualizado, que el canon de los metatarsianos responda a las condiciones de estabilidad y que los músculos tengan una fuerza suficiente. Cuando estas condiciones no se cumplan, no existe arco transversal anterior.

Mantenimiento de la bóveda plantar.- La bóveda plantar

tiene su estabilidad asegurada por una serie de medios potentes que garantizan su mantenimiento. Podemos considerar tres factores: a) factor óseo; b) factor ligamentoso, y c) factor muscular.

Estos tres factores actúan de una forma sincronizada ya que se bien el factor muscular no actúa más que en casos límites en los movimientos, no podríamos mantener la bóveda en el momento en que uno de estos factores no interviniera, produciéndose el desequilibrio: a) el factor óseo viene dado por la imbricación de los huesos entre sí. Los huesos están dispuestos de forma que encajan unos en otros de una forma reciproca. Según Lelievre existe una zona de solidez en la primera hilera del tarso que va hacia adelante y adentro uniéndose con los metatarsianos por medio de la interlínea de Lisfranc. Un punto clave de esta interlínea es el encajamiento del segundo metatarsiano entre las tres cuñas. Este arbolante se apoya en el cuboides que es un hueso a su vez vecino de cinco huesos más el calcáneo, el escafoides, la tercera cuña y los dos últimos metatarsianos. Para Destot el cuboides con su forma de cuña se convierte en la clave de la bóveda, tanto en sentido transversal como longitudinal, teniendo en cuenta el efecto de las presiones.

De cualquier forma no se debe comparar esta bóveda con las rígidas estructuras de los arcos arquitectónicos. Los huesos del pie poseen una cierta elasticidad ante los requerimientos funcionales.

b) Factor ligamentoso.— Los ligamentos son el elemento fundamental en reposo (Norton). Son de mayor importancia que los músculos. Todos colaboran en este mantenimiento al no permitir más que una escasa movilidad, de esta forma los huesos permanecen siempre ensamblados. Su acción se realiza en las posiciones estáticas y cuando la carga es ligera. En casos

de prolongado esfuerzo los músculos se agotan y dejan toda la labor a los ligamentos, éstos acaban por distenderse ocasionando trastornos en la estructura abovedada.

Según Marañón, todo el sistema ligamentoso está regulado por el sistema endocrino. Esto explica los casos de pies planos o deformados cuando existe un trastorno endocrino. Así se pueden dar casos de deformidad plantar en la mujer con insuficiencia ovárica e incluso en el período de la menstruación.

Para Pérez Casas el principal ligamento a tal efectos es el gran ligamento plantar o ligamento calcáneo cuboideo inferior. Es un ligamento con un grado elevado de elasticidad, sobre todo en los niños y en personas que no usan calzado (indígenas). Podríamos decir que es el ligamento que le confiere el arco externo esa solidez que anteriormente citábamos. Lo abarca casi por completo desde el pilar anterior al posterior y como es un arco corto y de poca altura, todo ello hace que adquiera gran solidez.

Otro ligamento muy importante es el lateral interno de la articulación tibio-tarsiana (ligamento deltoideo), por impedir que el astrágalo y el escafoides basculen hacia dentro. Por otro lado actúa sobre el calcáneo evitando la pronación del mismo.

La aponeurosis plantar participa también en el mantenimiento de la bóveda. No es un verdadero ligamento pero es un tensor que va desde atrás adelante insertándose en las tuberosidades de la cara plantar del calcáneo y llegando por medio de cinco lengüetas a las articulaciones metatarso-falángicas. Esto hace que el pie no pueda alargarse. Además colaboran en el mantenimiento de los arcos transversales al impedir que se separen las cabezas metatarsianas. Es importante también en cuanto a que presta inserción a algunos de los músculos plantares y que a su vez colaboran en el mantenimiento de la bóveda.

En realidad, todos los ligamentos del pie son mantenedores de la bóveda, puesto que son ellas las que mantienen íntimamente unidos a los huesos.

En el arco interno no se da el caso del externo en que un solo ligamento abarca todo el arco. Aquí existen numerosos ligamentos plantares que mantienen unidas las cinco piezas óseas de que se compone dicho arco: ligamento cuneometatarsiano, ligamento escafoineal, ligamento calcáneoescafoideo inferior o ligamento de Farabeus, ligamento calcáneoastragalino, ligamento plantar largo, ligamento tarsiano plantar, etc.

c) Factor muscular.— Todos los músculos del pie intrínsecos y extrínsecos participan en el mantenimiento de la bóveda a excepción del triceps sural.

Como hemos dicho anteriormente estos músculos actúan en el movimiento y en los casos de sobrecarga. Sin embargo Piulach asegura que también participa en la función de soporte, no de una forma pasiva sino activa, equilibrando en todo momento la posición de los tres huesos en las diferentes fases de los movimientos y equilibrando el pie con respecto a la pierna.

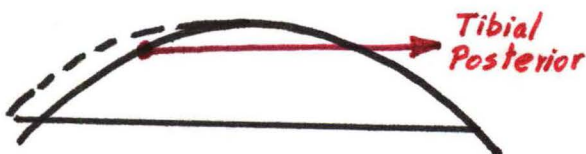
Basmajian en sus trabajos de electromiografía dice que en el sostenimiento estático de la arquitectura plantar no tienen función activa ningún músculo intrínseco del pie, y lo mismo ocurre con los más principales mantenedores de los músculos largos (tibial anterior y peroneo lateral largo).

Duchenne de Boulogne mantiene la teoría de que los músculos cortos del pie ayudados por algunos de los largos (tibial anterior, peroneo lateral largo y flexor largo del pulgar) actúan sobre la bóveda plantar mediante el tono muscular ya que una acción continuada de la contractura muscular produciría intensos dolores y pronto vendría el agotamiento.

La experiencia clínica ha demostrado que cuando la acción muscular desaparece por parálisis, se producen derrumbamiento de los arcos y en consecuencia aplacamiento de la bóveda. Es por esto que debemos admitir la acción muscular, no de una forma constante, pues esto traerá consigo la fatiga, pero si de una forma adecuada a los requerimientos de las funciones del pie.

Menos el triceps sural, son todos los músculos del pie los que participan en el sostenimiento de la bóveda. Sin embargo hay unos pocos que son fundamentales y vamos a explicar de qué forma actúan.

El tibial posterior es fundamental como mantenedor del arco interno. Actúa en las proximidades de la cúspide del arco. Recordemos que este músculo viene de la parte posterior de la pierna y rodeando el maléolo interno que sirve de polea se dirige al tubérculo del escafoides donde se inserta. De aquí lanza expansiones a las caras plantares de las tres cuñas y extremidad proximal del cuarto metatarsiano. Además se entremezcla con los ligamentos plantares y actúa sobre los metatarsianos medios y el cuboide.



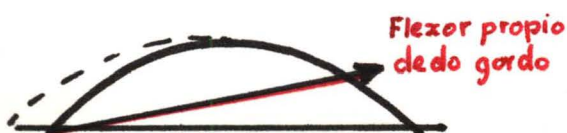
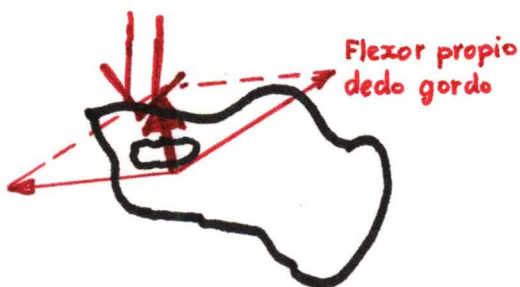
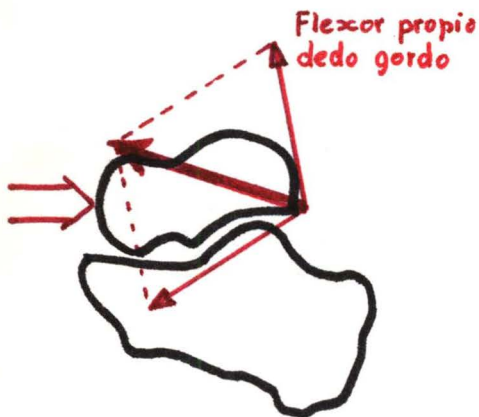
.-Acción del tibial posterior.

Insertado de esta forma y por la dirección en que actúa es fácil ver que tira hacia adentro y atrás de todos estos huesos. Por la dirección que lleva la componente de acción, cuando el músculo se contrae y se acorta sólo unos milímetros al nivel del escafoides produce un gran descenso del arbotante anterior del arco y la cabeza del

primer metatarsiano se ve fuertemente retraído hacia atrás y

abajo, aumentando así la curvatura plantar. Este músculo, además, produce una inclinación hacia dentro del pie.

El flexor largo propio del dedo gordo es una verdadera cuerda del arco interno y desempeña varias funciones muy importantes. Al venir de la parte posterior de la pierna pasa entre los dos tubérculos posteriores del astrágalo y calcáneo y se dirige hacia la parte anterior del pie deslizándose por debajo del sustentaculum tali. De esta forma evita por un lado que el astrágalo resbale hacia atrás por el empuje que éste mismo hueso ejerce sobre el escafoides. Por otro lado mantiene el sustentaculum tali horizontal y estabiliza de esa forma el astrágalo y calcáneo evitando que se produzca el basculamiento del calcáneo y en consecuencia un desligamiento del astrágalo hacia dentro.



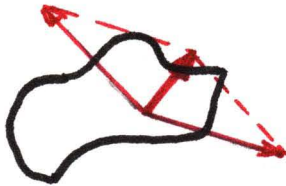
Como este músculo se inserta en la falange distal del dedo gordo ejerce una acción de acortamiento del arco y además fija al suelo dicho dedo y permite que se lleve a cabo la fase de despegue del pie durante la marcha.

El flexor largo común de los dedos es un colaborador del anterior ayudándole a actuar en la función de acortamiento y de pronunciar la concavidad del arco. Este músculo actúa también sobre el arco externo ya que lanza digitaciones a todos los dedos. El peroneo lateral largo es otro de los grandes tendones de la bó-

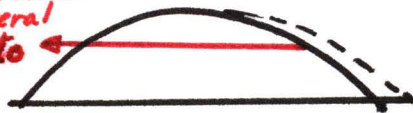
-Acción del flexor propio del dedo gordo.

Tiene una disposición muy especial al colocarse como si fuera un estribo del pie. Actúa sobre el arco interno, el arco externo y el arco transversal. Efectivamente al pasar por debajo del maléolo externo junto con el ~~el~~ peroneo lateral corto va a alojarse en el canal que existe para él en el calcáneo sujetándose por el ligamento anular. Desde aquí se dirige por la cara plantar del pie hacia el primer cuneiforme y a la base del primer metatarsiano insertándose en estos huesos. Este hueso impide que la articulación calcáneo cuboidea se entreabra, además tiene una función igual a la que ejerce el flexor propio del dedo gordo en el lado interno sobre el calcáneo, evitando que la extremidad anterior de éste, descienda. Es un fiel guardián del arco externo y en esta función está muy ayudado por el peroneo lateral corto que actúa a modo de cuerda parcial del arco.

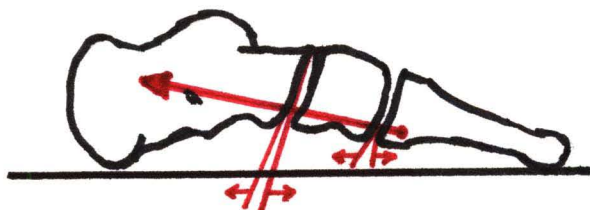
Peroneo lateral largo



Peroneo lateral corto

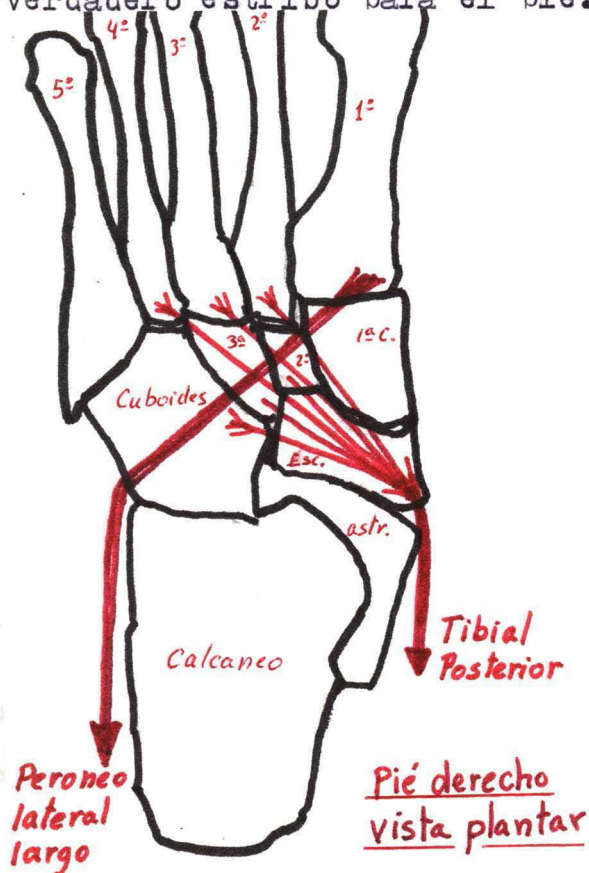


Peroneo lateral corto

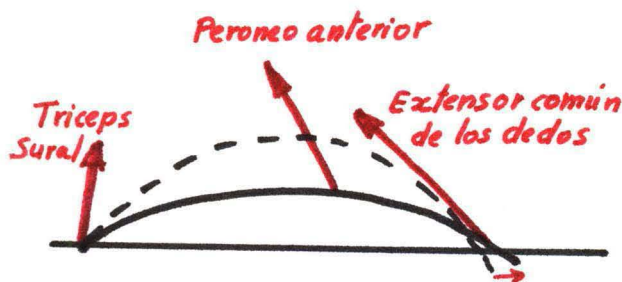


Por otro lado actúa sobre el arco interno ya que flexiona al primer metatarsiano sobre el primer cuneiforme y éstos sobre el escafoides lo que quiere decir que acorta dicho arco al tirar de todo el pilar anterior. Como esta acción la realiza con una componente oblicua también actúa sobre la curvatura transversal, acortándola. Vimos anteriormente que el tibial posterior tenía una disposición parecida a éste. Quiere esto decir que el peroneo lateral

largo y tibial posterior son dos músculos que actúan sinérgicamente y considerados como una unidad funcional constituyen un verdadero estribo para el pie.



.-Esquema del "estribo" formado por el tibial posterior y el peroneo lateral largo. anterior, es el peroneo anterior. Este músculo tira también



.-Acción de los depresores de la bóveda (Kapandji)

El músculo tibial anterior se inserta en el primer cuneiforme, lo que quiere decir que, considerando la dirección de su acción, es un músculo aplanador de la bóveda ya que eleva el pilar anterior del arco interno y alarga dicho arco. En ciertas condiciones ocurre lo mismo con el extensor propio del dedo gordo.

En el arco externo hay otro

músculo homólogo al tibial

posterior, es el peroneo anterior. Este músculo tira también

hacia arriba y de este arco

y tiende a aplanarlo. Lo mismo

sucede con el extensor común

de los dedos. Los músculos

cortos del pie son fundamentales

para el sostenimiento de la

arquitectura del pie. Son éstos

los que realizan una mayor

labor y constituye los verdaderos

tirantes de los arcos.

los arcos.

El aductor del dedo gordo es

una verdadera cuerda del arco

interno, lo abarca en su to-

talidad y actúa en el pilar anterior y en el posterior acercando las bases de éstos y aumentando la curvatura.

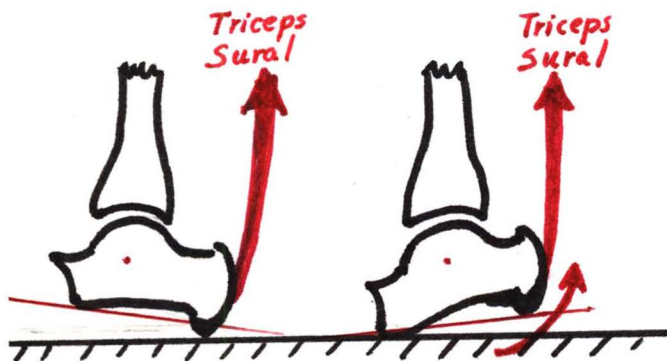
El abductor del quinto dedo actúa de forma parecida sólo que su acción repercute en el arco externo. El abductor del dedo gordo es el único responsable del arco transversal anterior. Mantiene firmemente unidas las cabezas de los metatarsianos. Esta ayudado en parte por la acción del peroneo lateral largo. El flexor corto plantar ayudado por el flexor común de los dedos realiza una gran labor de sustentador de la bóveda. Este músculo actúa entre medias del abductor del quinto dedo y del aductor del primero, constituyendo entre los tres el principal elemento funcional del mantenimiento de la bóveda.

Todos estos músculos a excepción de los estudiados como aplanadores de la bóveda, actúan en favor de las curvaturas de los arcos.

Si no existiera ninguna fuerza que actuara contra ellos, lógicamente obtendríamos siempre un pie excavado. Debemos pensar entonces, en un equilibrio entre las fuerzas que ejercen y las producidas por el peso del cuerpo que siempre serán aplanadoras. Cuando existe una hiperlaxitud musculoligamentosa, el sistema se desequilibrará en favor de un pie plano. Cuando, por el contrario, tengamos una hipertensión o una contractura en alguno de estos músculos, aparecerá un pie excavado en alguna de sus modalidades.

Además de esto, debemos tener en cuenta la acción que puede producir el triceps sural. Anteriormente le habíamos citado como el único músculo que no colabora en el mantenimiento de la bóveda. Ahora, sin embargo, pensando en la dirección de sus componentes de fuerza a nivel de su inserción y en la situación de ésta, no sólo la consideramos como no colaborador sino que le calificamos de potente factor negativo. La acción

de este músculo lleva hacia arriba la parte posterior del calcáneo, que gira en un eje "prestado" por el astrágalo.



.-Esquema de la acción aplanadora del triceps sural.

Dicho en otros términos, levanta la base del pilar posterior de los arcos longitudinales, con lo que aplanan estos arcos y reduce la bóveda plantar.

Existe pues, un antagonismo entre este músculo y los responsables de mantener los arcos longitudinales (flexor corto plantar, aductor del dedo gordo y abductor del quinto dedo, principalmente).

Si no existiera esta acción retráctora del triceps, los músculos cortos plantares tirarían demasiado del cuerpo del calcáneo y este quedaría demasiado inclinado alterándose toda la estructura pédica. Es por esto que existe este antagonismo y uno y otros se equilibran creando la medida adecuada de la curvatura plantar.

Considerando todo lo antedicho, Sieberg (tomado del Pérez Casas) ha creado el concepto de SISTEMA CALCÁNEO-AQUILEO-PLANTAR, que para él es el conjunto de formaciones anatómicas que participan en el sostenimiento de la bóveda plantar. Este sistema está por los dos subsistemas de músculos plantares por un lado y tríceps sural por otro. Entre estas dos fuerzas existe una unión morfológica que les confiere una continuidad anatómica. Esta continuidad viene dada por las fibras de Sharpey del calcáneo, que son numerosas en la tuberosidad posterior y es aquí donde se insertan varios músculos plantares, aponeurosis plantar y tendón de Aquiles.

Todo hace pensar en una unidad funcional, formada por ~~bi-~~

triceps sural y músculos plantares, al servicio de la bóveda plantar.

.-2 f. Funcionamiento de la bóveda plantar en la estática, en la marcha, en la carrera y en el salto.-

.-En la estática.

Ya hemos visto en capítulos anteriores como la carga transmitida por la pierna al astrágalo, se reparte por el pie en tres direcciones que van a los tres puntos de apoyo. Hablamos también de qué cantidad de peso recae en cada uno de estos puntos y vimos que hacia el punto de apoyo posterior se dirigía aproximadamente el 50% del peso y el resto se repartía entre los dos anteriores en cantidades desiguales.

debido a estas cargas los arcos sufren un aplastamiento y en consecuencia se alargan, las articulaciones se entreabren ligeramente, los ligamentos se distienden y se verifican una serie de desplazamientos y de giros en las piezas óseas.

El calcáneo desciende ligeramente a nivel de las tuberosidades posteriores, (aproximadamente 1,5 mm.) y a nivel de su apófisis mayor lo hace en mayor escala, 4mm., lo que quiere decir que disminuye el ángulo formado por su cara plantar y el plano del suelo. El astrágalo, hueso situado fuera de la estructura del arco interno, experimenta un descenso acompañando al calcáneo pero, además retrocede ligeramente con respecto a éste.

Acompañando a este movimiento, el pilar anterior del arco interno se adapta a la nueva posición. El escafoide al estar articulado con la cabeza del astrágalo desciende también, pero no tanto como los huesos anteriores, lo que quiere decir que su situación, ahora, con respecto al astrágalo es más elevada, pero no con respecto del suelo.

El resto del arco, cuñas y metatarsianos, descienden con respecto del suelo en mayor escala y las articulaciones cuneoescafoideas y cuneometatarsianas se entreabren hacia abajo. De esta forma las caras plantares de estos huesos están más separadas y en consecuencia se produce un alargamiento del arco.

Por el otro lado, el arco externo, el cuboide arrastrado por el calcáneo desciende y los metatarsianos últimos sufren las mismas consecuencias. Se produce también ese ligero "bostezo" articular en la calcaneocuboidea y en la cuboideometatarsiana, alargándose ligeramente el arco.

A nivel de las curvaturas transversales del arco anterior ocurre más o menos lo mismo. Si hemos visto que desciende el escafoide y el cuboide en los arcos interno y externo, la curvatura de

transversal existente a este nivel sufrirá también un aplastamiento que será mayor en el lado interno que en el externo debido al apoyo que tiene el cuboide. Exactamente igual acontece en el arco transversal formado por cuñas y cuboides.

en el arco anterior el aplastamiento se produce hacia fuera y hacia dentro a partir del segundo metatarsiano, aumentando la separación entre estos huesos. El segundo metatarsiano se desplazará verticalmente hacia abajo y los demás hacia uno u otro lado según su situación. Este arco sufre así un gran ensanchamiento. Kapandji lo valora en 12,5mm.

Todas estas modificaciones están en relación con la cantidad de peso que carguemos y será tanto mayor cuanto más peso tengamos. La tonicidad de los músculos y su tensión, la fortaleza de los ligamentos y la elasticidad de las articulaciones determinarán en gran manera dichos aplastamientos.

Al ser el pie la base de todo el cuerpo humano, de él depende la consecución de una buena postura y de un buen equilibrio postural. Para mantener la postura erecta existen una serie de reflejos llamados de "enderezamiento" que actúan en diferentes partes del cuerpo: laberínticos, en la cabeza, en el cuello, el cuerpo, ópticos. Todos estos reflejos están controlados por unos centros nerviosos situados en la parte ventral del mesencéfalo. Por medio de sensaciones propioceptivas se ponen en tensión ciertos músculos corrigiendo de esta forma cualquier desequilibrio.

Cuando de mantener la postura erecta se trata, se ha comprobado (Rasch-Burke) que la participación del tríceps sural es segura y la fuerza ejercida por los músculos de la pantorrilla es bastante elevada. Se han obtenido también potenciales de acción en el tibial anterior y en el peroneo lateral largo.

Sin embargo es difícil detectar acción alguna en el cuádriceps crural y músculos de la corva debido a que la línea de gravedad pasa por delante de la articulación de la rodilla. No ocurre así cuando balanceamos el cuerpo hacia atrás y desviamos, por decirlo así, la línea gravitatoria, pasando entonces por detrás.

De esta forma comprendemos la gran labor que realizan los pies en el mantenimiento de la postura. Cuando todo el peso está recayendo en los huesos astrágalo, transmitido por la tibia, el pie sufre las deformaciones ya descritas, pero además se coloca en la postura adecuada para tener mejor base y ayudar al equilibrio postural. Existe además una fijación de pierna y pie gracias a la contracción sinérgica de músculos como el tibial anterior y el extensor común de los dedos.

Otras contracciones reflejas de los músculos intrínsecos del pie son las de los aproximadores del dedo gordo para dar mayor base, los flexores plantares para fijar los dedos al suelo, y en general todos los músculos plantares, que reaccionan por medios propiocep-

tivos.

Cuando algo de todo esto falla, o se desequilibra, repercute en la articulación que tiene inmediatamente por encima. Así, un pie a desplomado o en posición varo o valgo constante, modifica la posición del tobillo y esto a su vez hace que la rodilla se coloque de forma que compense este desequilibrio. Pero pronto llegamos a la pelvis. La pelvis es una unidad funcional muy importante dentro del equilibrio postural. Por un lado sostiene el peso de la parte restante del cuerpo que hay encima de ella y por otro lo reparte a las piernas. Si ahora volvemos a esa rodilla acomodada para compensar la mala posición del tobillo, nos damos cuenta de que la pelvis sufrirá, en consecuencia, esa deformidad del pie. Si el desequilibrio es grande, se tenderá a compensarlo y la pelvis se inclinará. Uno de los lados estará más alto que otro y la columna vertebral, fijada en su posición inferior, sufrirá un ladeamiento, ya que estaría apoyada en una superficie no horizontal.

Es pues, importantísimo el conseguir una buena disposición arquitectónica del pie antes de intentar una corrección de la postura y del equilibrio del cuerpo humano.

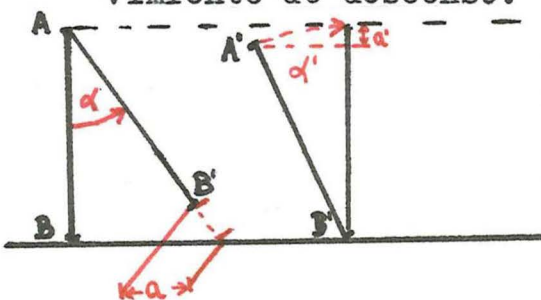
.-En la marcha.

En el momento en que pongamos en marcha nuestro cuerpo y empecemos a caminar, estas deformaciones serán distintas ya que, a lo largo de todo lo que es un paso, el ángulo formado por los distintos segmentos variará constantemente y las presiones aumentarán o disminuirán en las distintas fases del paso.

La marcha humana se caracteriza por la transformación de un movimiento giratorio en un movimiento de translación.

Efectivamente, si un segmento dado \overline{AB} , efectúa un giro primero sobre uno de sus extremos y a continuación otro sobre el otro extremo, el resultado es que dicho segmento se desplaza de lugar. Pero si uno de los extremos debe quedar apoyado en el suelo al final de cada giro, resulta que el extremo libre o superior irá describiendo una trayectoria sinusoide dentro de un plano vertical:

Supongamos que es el segmento \overline{AB} el que está apollado por su extremo B en el suelo. Si efectuamos un giro α alrededor de A, B se separará del suelo una distancia "a" que es la que tendrá que descender B para tocar el suelo. Luego A habrá efectuado un movimiento de descenso.



En el segundo giro, alrededor de B ocurrirá lo mismo pero al contrario, es decir que A volverá a ascender.

El segmento \overline{AB} se ha desplazado y en este camino el extremo A ha descrito una trayectoria primero descendente y luego

.-Desplazamiento del segmento AB por medio de dos giros.

descendente. Si volvemos a hacer el primer giro y a continuación el segundo y así sucesivamente, obtendremos como resultado de la línea descrita por A, una curva sinusoidal.

En el mecanismo de la marcha humana ocurre lo mismo, teniendo en cuenta, claro está, las diferencias existentes entre un segmento como el \overline{AB} y la pirena del hombre.

No se trata de un segmento sino de dos y cada uno, además, formado de varios (Pié, pierna y muslo).

Considerando el centro de gravedad del cuerpo humano en lugar del extremo superior del segmento \overline{AB} , vemos que describe esa misma línea curva y además efectúa un movimiento parecido pero en un plano horizontal. Esto último es debido a la separación de las piernas y al desplazamiento del peso del cuerpo a una y otra pierna.

Debido a que las piernas son paralelas entre sí se realiza un giro de la pelvis cada vez que avanzamos un pié. Este giro se ve compensado por otro de sentido contrario a nivel de los hombros y a un movimiento compensatorio de los brazos.

Todos estos movimientos compensatorios que rodean al de translación dan a la marcha humana unas características que la diferencian de las del resto de los animales. Esta distinción sobre los demás animales viene dada, en gran parte, por el mecanismo funcional del pié que facilita una suavidad y una armonía a todos estos movimientos.

La bóveda plantar juega un papel primordial, ya que es sometida a sobrecargas y presiones estando el pié en posiciones muy diferentes.

En el mecanismo de la marcha existen una serie de movimientos, estudiados por los diferentes autores, que son los que realiza la marcha en sí. Estos movimientos se denominan fases o periodos. Por supuesto que existirán tantas fases o periodos como nosotros queramos, pues se trata de un movimiento continuado, pero esto solo traería complicaciones. De todos estos periodos se toman los más característicos y cada autor ha descrito los que más ha considerado.

Atendiendo a los movimientos que realiza el pié vamos a distinguir tres periodos principales:

- 1.-El contacto con el suelo
- 2.-El apoyo total con el suelo
- 3.-La impulsión o despegue del suelo

Cada uno de estos tres periodos se caracteriza por la posición del pié, la distribución de la carga, los movimientos que se realizan en los demás segmentos del cuerpo y la posición de estos segmentos.

El primer periodo o periodo de primer contacto con el suelo o periodo de recepción, se produce cuando el cuerpo empujado, bien por la otra pierna bien por el desequilibrio necesario para iniciar el primer paso, cae hacia delante. La pierna libre oscila hacia delante y con la rodilla extendida apolla el talón en el suelo evitando que el cuerpo se caiga del todo. El miembro inferior se ha extendido en la rodilla y se ha flexionado en cadera y tobillo, además la pelvis ha efectuado un giro de eje vertical y el tronco, hombros y brazos compensan dichos movimientos.

Por el empuje del cuerpo se realiza ahora la extensión del tobillo y el pie busca el apoyo en el suelo en supinación, este movimiento está controlado por los músculos anteriores de la pierna.

Las presiones ejercidas por el peso del cuerpo se transmiten al suelo a través del talón posterior y no es la totalidad del peso ya que el miembro atrasado todavía no se ha desoegado del suelo, pero se está produciendo ya el traslado de un pie al otro,

Otro movimiento importante que se produce en este periodo es la flexión ligera de la rodilla que sirve para amortiguar, en el momento del choque, la fuerza ejercida por el cuerpo y se realiza momentos después de haber tomado contacto con el suelo.

El periodo de apoyo total se caracteriza por estar apoyada la totalidad de la planta del pie en el suelo y por el paso de la pierna desde la posición de extensión del tobillo (la pierna se halla por detrás de la vertical que incide en la articulación del tobillo) a la posición de dorsiflexión en que se coloca por delante de la vertical mencionada. Quiere decir esto que el cuerpo se traslada de atrás a delante por encima del pie de apoyo, a la vez que la pierna atrasada oscila y va a buscar un nuevo apoyo. En este trayecto hay un momento en que el pie recibe la totalidad del peso del cuerpo y la bóveda plantar sufre la mayores presiones ya que es un solo miembro el que soporta toda la carga. Las deformaciones que sufre la bóveda plantar son las descritas en el capítulo anterior al hablar de la estática.

En este periodo la rodilla está flexionada y es el cuádriceps quien sujeta dicha articulación. A nivel de la cadera se ha producido una extensión del muslo y la pelvis gira en el sentido opuesto al anterior.

Todos los tensores plantares entran en acción para evitar el derrumbe de la bóveda. Esto se puede considerar como un movimiento amortiguador.

Aunque hemos dicho que las deformaciones son las descritas en el capítulo anterior, en realidad no son exactamente iguales, ya

que ahora se trata de un movimiento a la vez que se produce la presión: En la primera fase de este periodo la deformación tiene lugar más bien en los pilares anteriores, alargandose éstos hacia delante, mientras que en la última fase, cuando la parte anterior está más fijada al suelo, es el pilar posterior de los arcos los que se alargan hacia atrás.

Además de todo esto, se realiza a la vez una gran labor de equilibrio, pues no nos olvidemos que pasamos todo el cuerpo por encima de un solo pie. Para conservar dicho equilibrio el pie toma tres posturas diferentes (Frank Weistein): Cuando el centro de gravedad gravita encima del pie del apoyo, éste, toma una posición de inversión para ayudar a mantener el equilibrio lateral facilitando de esta forma el paso de la pierna oscilante, que busca el nuevo apoyo, y los giros que realiza el cuerpo.

Cuando el cuerpo pasa por encima de la vertical del pie, éste se halla en posición intermedia, y ya cuando el cuerpo ha pasado se produce una eversión. Se produce ésta en el momento en que instantes después va a iniciarse el primer impulso. De esta forma el pie colabora a que la carga se desplace del arco externo al interno para su posterior propulsión. Colocado así el pie es capaz de amortiguar mejor la fuerza ejercida sobre el cuerpo en el primer momento de impulsión.

Vemos que no se trata solo de poner en tensión los ligamentos y fabricar en un momento una pieza rígida, sino que existe una colaboración postural que facilita dicho bloqueo y un aprovechamiento óptimo de las palancas.

En el periodo de despegue o de eyección o de propulsión se distinguen varias fases. A juicio de Weistein son tres las propulsiones que se realizan, una inicial, otra media y otra final. Kapandji solamente describe dos. De cualquier forma este periodo comprende el despegue del pie del suelo. Recordemos que se halla en una posición de flexión dorsal, es el triceps sural el que al contraerse levanta el talón y hace que el pie se apoye en los pilares anteriores de los arcos longitudinales.

La bóveda plantar sufre las consecuencias de todo esto. Por un lado se aplasta contra el suelo en su parte anterior. Por otro, el peso del cuerpo sigue cayendo sobre ella y además, todos los músculos exteriores, sobre todo el triceps, traccionan de ella. Todos son factores que tienden a desmoronarla y nuevamente debe poner en acción todos sus elementos tensores. También esta vez actúa de amortiguador y gracias a ella puede culminarse el paso.

Los arcos transversales, sobre todo el anterior, sufren aquí las mayores presiones.

La impulsión se continúa ahora por medio de los flexores de los dedos. Estos están fuertemente apoyados y fijados en el suelo. A partir de este momento el peso corporal pasa casi en su totalidad al nuevo apoyo y los dedos se flexionan para desprenderse del suelo corrigiendo además la trayectoria a seguir. La bóveda plantar se recupera en el camino de balanceo en busca de un nuevo apoyo, el pié se ha liberado.

.-En la carrera.

Cuando la marcha va aumentando de velocidad, llega un momento en que pierde las características propias de ella. Siempre existe un doble apoyo y existe un momento en que solo un pié sujeta todo el peso. Obtenemos de esta forma la carrera caracterizada a su vez en que existe una fase de vuelo, sin apoyo de ningún pié y no existe ningún doble apoyo.

En la carrera el paso se llama zancada y por supuesto es más largo que en la marcha. Se realizan una serie de cambios en la mecánica como son una mayor flexión de la rodilla y de la cadera, una extensión de la pierna más potente para impulsar al cuerpo en el salto de cada zancada. Existen muchas modalidades de carrera según sea más rápida o más lenta y en cada tipo se realiza una clase de mecánica. No obstante existen una serie de hechos que la diferencian de la marcha y que, además repercuten en el trabajo de los piés.

En la carrera se llega al suelo después de cada zancada con una mayor fuerza. El impacto del pié en el suelo está en relación con la velocidad de la carrera, con la amplitud de la zancada y con el peso del individuo. Todo el peso del cuerpo cae sobre un pié y de esta forma este pié soporta sólo ese peso multiplicado debido a la velocidad de caída. Por este motivo, este pié que oscila y busca el suelo, cae por la parte anterior, amortiguando el choque que se produciría cayendo de talón y con la pierna extendida como en la marcha. Todas las articulaciones del pié juegan aquí un importante papel. Los arcos se deforman y se tensan fuertemente para contrarrestar ese impacto. Todo el pié queda dispuesto para volver a servir de apoyo y volver a impulsar.

x Hay tipos de carreras en que no se apoya nunca o casi nunca el talón, como las de velocidad, sin embargo hay otras en que por su duración no se puede uno permitir el lujo de gastar energía en esto ya que lo que se busca es economizar esfuerzos para poder llegar. Ocurre en las carreras de Maratón.

En una carrera de velocidad es necesario una mayor potencia, la pierna de sostén está más flexionada y así, al realizar el impulso tiene un mayor recorrido de extensión. Cuando la pierna se ha extendido debe volver rápidamente hacia delante, por eso la rodilla se flexiona fuertemente, para acortar así la longitud del miembro.

Sin embargo, el trabajo que realizan los músculos de los pies, así como sus ligamentos es mayor en una carrera lenta que en una carrera de velocidad. En una carrera de fondo es mayor el impacto producido por el pie en cada zancada después de la fase de oscilación. El centro de gravedad cae más cerca de este apoyo "machacando" el pie. En una carrera de velocidad el pie va más lejos, la zancada es más larga y la velocidad es mayor. Si exageramos los dos extremos y suponemos que la carrera al trote se hace cada vez con "pasos" más cortos, llega un momento en que el centro de gravedad recae sobre el pie verticalmente, pues no nos movemos de sitio. En una carrera de velocidad el pie se adelanta por delante de la vertical gravitatoria y sufre menos en el impacto contra el suelo.

Por otro lado, sin embargo, la fuerza que realiza el pie de impulsión en la carrera de velocidad, es mayor que en la carrera de fondo y los arcos y tensores plantares desarrollan un mayor trabajo.

.-En el salto.

El salto puede realizarse de muchas formas. Un salto en vertical, un salto de un pie, un salto de longitud, etc. La carrera puede ser considerada como una serie de saltos sucesivos y alternados con los dos pies.

En este tipo de saltos el pie juega un papel importante tanto en la impulsión como en la caída.

Cuando queremos dar un salto mayor, la cadera desciende de forma que las rodillas se flexionan aún más y la extensión resulta más potente. En esta extensión el pie realiza mayor fuerza aún con sus ligamentos y la extensión del tobillo y flexión plantar de los dedos es máxima. En la caída se hace un amortiguamiento mayor gracias a la flexión de rodillas pero el pie sufre también un fuerte impacto.

La caída del salto se produce siempre con la parte anterior y media del pie y éste es el que frena el choque al flexionarse fuertemente a nivel del tobillo, siendo los músculos de parte posterior de la pierna los encargados de controlar esta flexión dorsal. Pero esto requiere la tensión potente de los tensores planta-

res y todos los arcos y ligamentos ceden para permitir cierta elasticidad. Por otro lado, los músculos fijadores del tobillo, tanto transversales como anteroposteriores entran en acción evitando cualquier tipo de torcedura. Todos sabemos lo peligroso que resulta caer sobre los talones. En este caso el impacto repercute en todo el cuerpo, pues se transmite por los segmentos rígidos de las piernas y llega a la columna vertebral, y es aquí donde se tiene que "amortiguar" el golpe.

Es muy importante adquirir un buen dominio de segmentos y de movimientos amortiguadores ya desde pequeño. La educación del salto, de la carrera y de la marcha es fundamental. Y Para ello es también fundamental la buena "educación" del pie.

En los deportes, en la vida cotidiana, en la actividad física, el pie juega el papel más importante. Debemos conocer el pie y debemos educar el pie.

CONSIDERACIONES GENERALES

.- El pié ha sido calificado por algunos como "la primera maravilla arquitectonica del cuerpo humano".

El hecho de que el hombre haya adaptado la postura erecta ha hecho que el pié haya sufrido una evolución para poder soportar el duro trabajo que supone cargar con todo el peso del cuerpo. La naturaleza no pudo prever esto, ni tampoco el obligado uso de calzado. Los pavimentos, las aceras, los suelos de piedra y mármol, son los lugares que con más frecuencia utilizamos para nuestros desplazamientos. Sin embargo y a pesar de todo, los piés funcionan o pueden funcionar a la perfección. Digo "pueden funcionar" porque es necesario para ello prestarles una gran atención y un gran cuidado.

El pié no fué hecho, seguramente, para tener que soportar todo el peso y para tener que desenvolverse en medios tan adversos. No obstante, y gracias a la evolución, actualmente está completamente capacitado. Pero para que se cumpla esto debemos prestarle atención. Si no lo hacemos, el pié, se desequilibra, el juego de presiones se tambalea, vienen dolores y malestares y de ser un órgano del que no nos damos cuenta del trabajo que hace, pasa a ser un órgano enfermo y molesto por tanto trabajo como queremos darle.

Es mucho lo que se puede hacer para conseguir piés sanos y bien equilibrados, pero lo más importante para mi es la realización de ejercicios adecuados. La educación física de los piés es fundamental ya desde edades tempranas. No es ahora cuando más interesa, pues los juegos, las carreras y los saltos de los niños, son suficientes. Es en las edades en que esto se olvida. Es cuando el hombre se ve obligado a permanecer tiempo y tiempo con sus piés "encarcelados" en sus zapatos y completamente inactivos.

Los tiempos modernos con sus comodidades, sus exigencias sociales, su trabajo, las obligaciones, las prisas, están haciendo que el pié se atrofie, se deforme e incluso se enferme.

La actividad física es la que debe compensar esa inactividad y al profesor de educación física es a quien compete este problema.

Creo, sin embargo, que a nivel de esta asignatura se concede muy poca importancia a este problema. Dentro de los escolares hay muchos casos que nosotros podemos tratar, y no solo. No ocurre esto sino que además es motivo para que el escolar se crea eximido de la asignatura.

Es necesario crear una conciencia educacional que se ocupe de dotar al pié de los medios necesarios para que su funcionabilidad no se pierda.

La evolución no ha terminado y el pié sigue su curso. ¿Hsata donde llegará? ¿Terminaremos andando sobre piés que parezcan "muñones"?... Hagamos lo posible para que el hombre pueda seguir saltando y corriendo.

C O N C L U S I O N E S

.-Estoy seguro que en mi futura labor como profesor de Educación física, me servirán de mucho todos los conocimientos adquiridos en la realización de este trabajo.

Desde luego, no considero que haya hecho nada nuevo, para muchos no será más que un breve recordatorio, para otros ni siquiera eso. Sin embargo creo haber sido yo el más beneficiado. He aprendido cosas nuevas y me he dado cuenta que ahora tengo una base de partida para aprender mucho más.

El pié es la base y el apoyo del resto del cuerpo. Sobre él nos movemos, nos paramos, nos impulsamos, caemos, saltamos, corremos. Participa de una forma primordial, en todos o casi todos los deportes. Su labor se realiza en un campo inmenso de posibilidades y son numerosísimos los medios en que se desenvuelve a la perfección, desde la barnizada pista de un polideportivo a la aspera, rugosa e irregular piedra de una montaña y desde el terreno más duro al más blando, como el agua, o deslizante, como la nieve o el hielo. En todos se adapta y en todos nos brinda grandes posibilidades.

Creo en la importancia del pié y en la dependencia que el hombre tiene de él.

Me alegro y me congratulo de haber adquirido unos conocimientos básicos con los que, más adelante, pueda seguir trabajando y estudiando, con los que pueda realizar alguna labor en favor de todo este complejo funcional, con lo que pueda aportar algo en beneficio del hombre, del niño, del escolar.

Para terminar quiero agradecer a los dirigentes de este Centro, así como a todo su profesorado, el interés puesto en conseguir la buena formación y la capacitación del alumnado.

Agradezco también de una forma especial, la ayuda prestada por el profesor de anatomía, Dr. Anitua, en la realización de este trabajo fin de carrera, así como el interés y el buen gusto que supo poner en la exposición de cada una de las lecciones de esta asignatura, impartida por él en los primeros años de carrera.-

B I B L I O G R A F I A

BIBLIOGRAFIA DE OBRAS CONSULTADAS.

Testud, L., TRATADO DE ANATOMIA TOPOGRAFICA (TOMO II), Salvat, Madrid 1964

Ora Llorca, Francisco, ANATOMIA HUMANA (TOMO I), Editorial Científico Médica, Madrid 1963

Spalteholz, Wërner, ATLAS DE ANATOMIA HUMANA (TOMOS I yII), Labor, Madrid 1969

Perez Casas, Antonio, ANATOMIA FUNCIONAL DEL APARATO LOCOMOTOR, Bailly- Bailliere S.A., Madrid 1965

Daniels, Lucille, PRUEBAS FUNCIONALES MUSCULARES (Trad. Vela, Homero), Interamericana S.A. 1969

Rasch, Philip, J. , KINESIOLOGIA Y ANATOMIA APLICADA; El Ateneo S.A. Barcelona 1967

Kapandji, I. A., CUADERNOS DE FISOLOGIA ARTICULAR (II), (Trad. Martinez E.), Toray Masson, Barcelona 1970

Gomez Oliveros, Luis, LECCIONES DE ANATOMIA HUMANA (Tomo I) (IIFascículo), Marban, 1960

Lelièvre, Jean, PATOLOGIA DEL PIE (Trad. Viladot Perice, R), Toray Masson, Barcelona 1970

Basmajian, J.V., MUSCLES ALIVES , The Williams- Wilkins Co., Baltimore 1967

Weinstein, Frank, PODOLOGIA (Trad. Torner Baduell, C.E.) Salvat Editores, Barcelona 1970

Govaerts, A., LA BIOMECHANIQUE, NOUVELLE METHODE D'ANALYSE DU MOUVEMENT, Presses Universitaires de Bruxelles.

Anitua Solano, Juan Carlos, BIOMECHANICA DE LA BOVEDA PLANTAR, Revista oficial de la Federación ESPAÑOLA, Medicina de la Educación Física y el deporte, nº 15, Enero 1970, pgs. 21-38

Ducroquet, Robert, Jean et Pierre, LA MARCHE ET LES BOITERIES, ETUDE DES MARCHES NORMALES ET PATHOLOGIQUES, Masson et Cie., Paris 1965

Sidney Licht, M.D. TERAPEUTICA POR EL EJERCICIO, Salvat Editores S.A., Barcelona 1968

Dubois, J.P., ANATOMIE DESCRIPTIVE DU PIED HUMAIN, Librerie Maloine, Paris 1966

Hamby, John H., FUNDAMENTOS Y PRACTICA DE PODOLOGIA, Jims, Barcelona 1963

Ceccaldi, Alain, PRATIQUE DE LA REEDUCATION DU PIED, Masson y Cie., Paris 1967

BIBLIOGRAFIA DE AUTORES CITADOS.-

Biesalski y Mayer, Fich, Farabeuf, Henke y Douchenne de Boulogne, citados por Kapandji en "Cuadernos de Fisiología Articular".-

Keith, Farabeuf, Dudley Morton, Wood J.F., Destot, Douchenne de Boulogne, Padovani, Pietrogrande, Arandes, Viladot y Hoffa, citados por J. Lelievre en "Patología del pie"

Keith y Wood J. F., citados por Frank Weinstein en "Podología".

Fich, Destot, Douchenne de Boulogne, Padovani, Bach y Hoffa citados por, Perez Casas, A. en "Anatomía Funcional".

Dudley Morton citado por Rasch, P. J. en "Kinesiología y anatomía Aplicada".

Wood, J. F. citado por Sidney Licht, M.D. en "Terapeutica por el Ejercicio"

